



SKRIPSI – ME141501

**ANALISA PERFORMA MOTOR DC FEEDBACK
TIPE NO. 63 – 110 DI LABORATORIUM LISRIK
DAN OTOMASI KAPAL**

**VIKY SUYANTO
NRP. 4212 100 102**

**Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito M.Sc
Dr. Eddy Setyo K, S.T, M.Sc**

**Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT – ME141501

**PERFORMANCE ANALISYS SHUNT DC MOTOR
FEEDBACK TYPE NO. 63 – 110 AT MARINE
ELECTRICAL AND AUTOMATION SYSTEM
LABORATORY**

**VIKY SUYANTO
NRP. 4212 100 102**

**Dosen Pembimbing
Ir. Sardono Sarwito M.Sc
Dr. Eddy Setyo K, S.T, M.Sc**

**Department of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISA PERFORMA MOTOR DC FEEDBACK
TIPE NO. 63 – 110

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Electrical and Automation System (MEAS)*

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:

Viky Suyanto

Nrp. 4212100102

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

(.....)

2. Dr. Eddy Setyo K, S.T, M.Sc

(.....)

Surabaya
Juli, 2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMA MOTOR DC FEEDBACK TIPE NO. 63 – 110

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Marine *Electrcal and Automation System (MEAS)*

Progam Studi S-1 Jurusan Teknk Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Viky Suyanto

Nrp. 4212100102

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng M. Badruz Zaman, S.T. M.T

NIP. 197708022008011007

ANALISA PERFORMA MOTOR DC FEEDBACK TIPE NO. 63 – 110

Nama Mahasiswa : Viky Suyanto
NRP : 4212100102
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
Dr. Eddy Setyo K, S.T, M.Sc

ABSTRAK

Motor listrik sudah umum kita temukan pada kehidupan sehari – hari, mulai dari motor DC sampai motor AC. Tiap jenis motor memiliki karakter yang berbeda, hal ini akan mempengaruhi penggunaan motor tersebut. Salah satu jenis motor DC adalah motor DC *shunt*. Pada tugas akhir ini, penelitian dilakukan untuk mengetahui performa motor dengan menghitung parameter berupa daya dan torsi yang dihasilkan motor pada kondisi berbeban dan tanpa beban. Pada percobaan dilakukan variasi tegangan mulai dari 100 V – 220 V pada kondisi tidak berbeban dan pada kondisi berbeban digunakan tegangan nominal 220 V. Hasilnya motor DC memiliki daya *output* maksimum 102.3 W dengan nilai daya masukan motor sebesar 184.8 W pada torsi 0.44 N.m dan efisiensi maksimum yang didapatkan adalah 55.4 %. Nilai arus medan akan tetap pada tiap nilai beban yang diberikan. Analisa dilakukan dengan cara mencari hubungan antara beberapa parameter dan didapatkan hasil berupa beban motor akan berpengaruh terhadap efisiensi, didapatkan semakin besar nominal beban maka akan semakin besar nilai efisiensi. Sedangkan daya akan naik sebanding dengan beban yang diberikan pada motor.

Kata kunci : Motor DC, Performa, Shunt

PERFORMANCE ANALISYS SHUNT DC MOTOR FEEDBACK TYPE NO. 63 - 110

Name : Viky Suyanto
NRP : 4212100102
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Advisor : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc
Dr. Eddy Setyo K, S.T, M.Sc

ABSTRACT

The electric motor is commonly be found in daily life - today , ranging from DC motors to AC motors. Each type of motor has a different character , it will affect the use of the motor. One type of DC motor is a DC motor shunt . In this thesis, the study examined the performance of the motor by calculating parameters such as power and torque produced by the motor to the load and no-load conditions . In experiments performed variations voltages ranging from 100 V - 220 V at no load condition and the load condition used a nominal voltage of 220 V. The result is a DC motor has a maximum output power of 102.3 W to the motor input power value of 184.8 W at 0.44 Nm torque and maximum efficiency obtained was 55.4 % . The field current value will remain at each value of a given load . Analysis is done by finding a relationship between keeping the parameters and the results obtained in the form of motor load will affect the efficiency , obtained the greater the nominal load , the greater the efficiency . While power will rise in proportion to the load placed on the motor .

Key Word : DC Motor, Shunt, Performance

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR GRAFIK	xxiii
BAB I	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Manfaat Penulisan Tugas Akhir	3
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	3
BAB II	5
2.1 Prinsip Kerja Motor DC	7
2.2 Bagian – bagian motor DC	7
2.2.1 Terminal medan	8
2.2.2 Kumparan jangkar	9
2.2.3 Komutator	9

2.2.4	Sikat arang (<i>brush</i>)	9
2.3	Jenis –jenis motor DC	10
2.3.1	Motor DC penguatan terpisah	10
2.3.2	Motor DC seri.....	11
2.3.3	Motor DC <i>shunt</i>	14
2.3.4	Motor DC <i>compound</i>	18
2.3.5	Motor DC <i>brushless</i>	21
2.3.6	Motor DC Magnet Permanen	24
2.4	Rugi – rugi motor DC.....	27
2.4.1	Rugi tembaga.....	29
2.4.2	Rugi besi.....	31
2.4.3	Rugi mekanis	33
2.5	Torsi dan daya motor DC	34
2.5.1	Torsi jangkar.....	36
2.5.2	Torsi poros.....	37
2.5.3	Daya dan efisiensi.....	38
2.6	Pengaturan kecepatan motor DC	39
2.6.1	Metode pengaturan flux.....	40
2.6.2	Metode kontrol jangkar atau <i>rheostatic</i>	44
2.6.3	Metode kontrol tegangan.....	47
2.7	Pengereman motor DC	51
BAB III	55
3.1	Umum.....	55
3.2	Urutan pengerjaan tugas akhir.....	55
3.2.1	Identifikasi masalah.....	55

3.2.2	Studi literatur	56
3.2.3	Pengambilan data.....	56
3.2.4	Analisa data dan pembahasan.....	57
3.2.5	Kesimpulan dan saran.....	57
3.3	Diagram alir (<i>flow chart</i>).....	59
BAB IV.....		61
4.1	Hasil praktikum	61
4.2	Perhitungan rugi	66
4.2.1.	Rugi tembaga jangkar (<i>W_a</i>).....	67
4.2.2.	Rugi temabaga medan (<i>W_f</i>)	69
4.3	Perhitungan Daya	73
4.3.1.	Daya masukan (<i>P_{In}</i>)	73
4.3.2.	Daya keluaran (<i>P_{Out}</i>)	74
4.3.3.	Efisiensi Motor	76
4.4	Perhitungan torsi motor	78
4.4.1	Torsi jangkar (<i>τ_a</i>)	79
4.4.2	Torsi poros (<i>τ_{Shaft}</i>).....	80
4.5	Analisa grafik	83
4.5.1.	Motor tanpa beban	83
4.5.2.	Motor berbeban	91
BAB V.....		99
5.1	Kesimpulan.....	99
5.2	Saran.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pengklasifikasian Motor Listrik	2
Gambar 2.1 Komponen motor DC	5
Gambar 2.2 Kaidah tangan kiri Flemming	6
Gambar 2.3 Komponen Motor DC	8
Gambar 2.4 rangkaian motor DC penguat terpisah	11
Gambar 2.5 rangkaian motor DC penguat terpisah	12
Gambar 2.6 rangkaian motor DC penguat terpisah	14
Gambar 2.7 Hubungan torsi dengan putaran	16
Gambar 2.8 Rangkaian motor DC kompon	18
Gambar 2.9 Hubungan torsi dengan putaran pada motor DC	20
Gambar 2.10 Rotor bagian luar BLDC	22
Gambar 2.11 Rotor bagian luar BLDC	23
Gambar 2.12 Rotor bagian luar BLDC	26
Gambar 2.13 Rugi Motor DC	27
Gambar 2.14 Diagram daya motor DC	28
Gambar 2.15 Rugi Histerisis	32
Gambar 2.16 Torsi motor DC	34
Gambar 2.17 rangkaian <i>field divertor</i> motor DC	41
Gambar 2.18 rangkaian <i>field divertor</i> motor DC	42
Gambar 2.19 Rangkaian <i>tapped field control</i> motor DC	42
Gambar 2.20 Rangkaian <i>field rheostat</i> motor DC	43
Gambar 2.21 Rangkaian rheosat pada motor DC seri	45
Gambar 2.22 Rangkaian tahanan pada terminal jangkar	47
Gambar 2.23 Rangkaian ward-leonard	48
Gambar 2.24 Rangkaian pengereman regenerativ	51
Gambar 2.25 Rangkaian pengereman plugging	52
Gambar 3.1 Percobaan motor beban nol	57
Gambar 3.2 Rangkaian variabel resistor	58
Gambar 3.3 Percobaan motor berbeban	58

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data hasil percobaan motor Variabel resistor = 0 Ω ..	62
Tabel 4. 2 Data hasil percobaan motor variabel tahanan = 0 Ω ...	63
Tabel 4. 3 Data hasil percobaan motor variabel tahanan =200 Ω	63
Tabel 4. 4 Data hasil percobaan motor variabel tahanan =200 Ω	64
Tabel 4. 5 Data percobaan motor variabel tahanan = 400 Ω	64
Tabel 4. 6 Data percobaan motor variabel tahanan =400 Ω	65
Tabel 4. 7 Data percobaan motor variabel tahanan = 600 Ω	65
Tabel 4. 8 Data percobaan motor variabel tahanan = 600 Ω	66
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan WCU motor beban nol	72
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan WCU motor berbeban	72
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan daya motor	77
Tabel 4. 12 Hasil perhitungan daya dan efisiensi motor	78
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan torsi motor	82
Tabel 4. 14 Hasil perhitungan torsi motor	82

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 hubungan tegangan dengan I shunt	84
Grafik 4. 2 Hubungan antara V_t dengan RPM	85
Grafik 4. 3 Putaran pada tegangan 220 V	86
Grafik 4. 4 Hubungan antara V_t dengan Daya Input	87
Grafik 4. 5 Hubungan tegangan dengan total rugi tembaga	88
Grafik 4. 6 Hubungan antara tegangan dengan W konstan	89
Grafik 4. 7 Daya input pada tiap nilai tahanan	90
Grafik 4. 8 Hubungan eksitasi dengan RPM	91
Grafik 4. 9 Hubungan torsi dengan eksitasi	92
Grafik 4. 10 Hubungan eksitasi dengan daya output.....	93
Grafik 4. 11 Hubungan torsi dengan efisiensi	94
Grafik 4. 12 Hubungan torsi dengan RPM.....	95
Grafik 4. 13 Hubungan daya Output dengan efisiensi.....	96
Grafik 4. 14 Hubungan eksitasi dengan efisiensi motor.....	97

BAB I

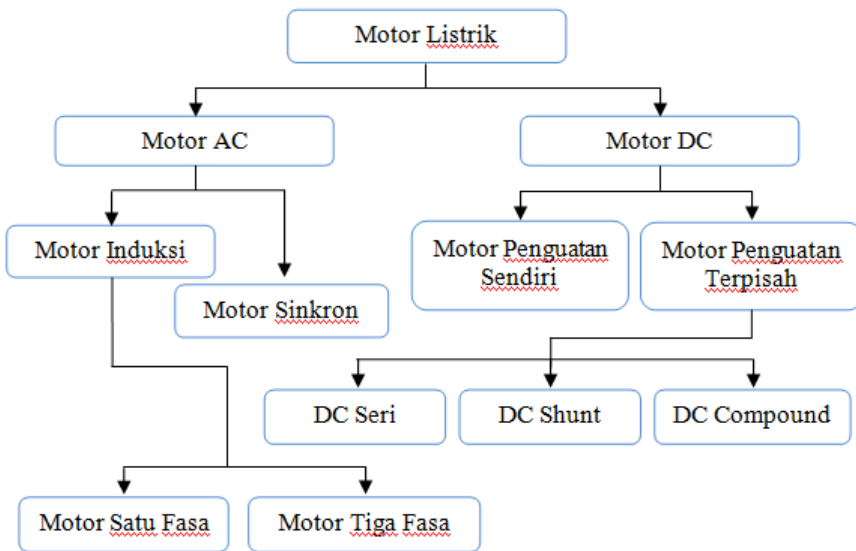
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada akhir – akhir ini mesin listrik sudah menjadi salah satu teknologi yang di gemari oleh masyarakat hal ini berkaitan dengan karakteristik dari mesin listrik yang tidak menimbulkan emisi gas buang, tidak seperti mesin yang menggunakan bahan bakar fosil. Ada berbagai macam mesin listrik yang sudah di ciptakan sampai pada abad ke-21 ini, untuk mempermudah pengklasifikasiannya dilakukan pengelompokan berdasarkan jenis dari sumber tegangannya apakah itu sumber tegangan arus bolak balik atau yang biasa di sebut dengan *alternating current* (AC) ataupun sumber tegangan arus searah atau yang biasa disebut dengan *direct current* (DC).

Ada berbagai macam mesin listrik yang telah diciptakan mulai dari trafo, motor, generator dll. Salah satu mesin listrik yang sering di gunakan oleh masyarakat untuk membantu pekerjaanya adalah motor listrik, motor listrik sendiri adalah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanis berupa gerak rotasi. Motor listrik secara garis besar dapat di bedakan menjadi dua jenis yaitu motor AC dan motor DC tergantung dari sumber tegangan yang digunakan.

Motor DC memiliki karakteristik yang unik jika dibandingkan dengan motor AC, salah satunya adalah motor DC bisa difungsikan pula sebagai generator AC selain itu motor DC kerap kita temui pada keseharian kita mulai dari yang berukuran kecil pada mainan anak – anak sampai yang berukuran besar pada *crane*.



Gambar 1.1 Pengklasifikasian Motor Listrik

1.2 Perumusan Masalah

Adapun dari latar belakang yang telah di paparkan sebelumnya maka perumusan masalah yang akan di buat adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakter dari nilai rugi yang dihasilkan oleh motor DC Feedback 63-110 ?
2. Bagaimanakah hubungan antara kecepatan dengan torsi motor pada saat berbeban ?
3. Bagaimanakah karakter efisiensi terhadap pembebanan motor ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa karakter motor DC yang dilakukan hanya pada motor DC Feedback No. 63-110

2. Pembebanan dilakukan dengan cara mengkoppel motor DC dengan generator.
3. Pengaturan kecepatan motor DC dilakukan dengan mengatur tegangan yang masuk dengan menggunakan autotransformator (regulator).

1.4 Tujuan Penulisan

Penelitian pada tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mempelajari karakteristik rugi dari motor DC.
2. Mengetahui karakteristik torsi terhadap putaran yang di hasilkan oleh motor DC Shut Feedback pada saat kondisi berbeban.
3. Mengetahui hubungan antara pembebanan dengan efisiensi motor.

1.5 Manfaat Penulisan Tugas Akhir

Manfaat yang di dapatkan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan mengetahui perfoma dan karakteristik dari motor DC Shunt Feedback No.63 – 110 di harapkan dapat di gunakan sebagai acuan dalam pemilihan jenis motor DC yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhannya.
2. Dapat mengetahui karakteriktik motor DC Shunt Feedback pada kondisi aslinya melalui metode praktikum berbeban dan tidak berbeban.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Halaman Judul

Lembar Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Daftar Isi
Daftar Tabel
Daftar Lampiran

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah dan tujuan dari Skripsi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang berhubungan.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan dibahas metodologi yang digunakan dalam mengerjakan skripsi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas pengolahan data, analisa data, perbandingan numerik dengan eksperimen serta menyelesaikan permasalahan yang diangkat sebagai topik dalam skripsi dan hasil-hasil yang didapat.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran-saran.

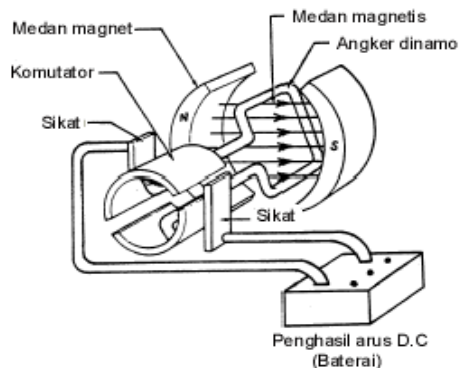
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Motor DC adalah sebuah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekaik yang berupa putaran, dikatakan motor DC disebabkan oleh sumber tegangannya yang menggunakan sumber tegangan arus searah atau yang sering disebut dengan *direct current* (DC). Motor DC dapat di bedakan menjadi dua jenis yaitu motor DC yang memiliki penguat sendiri (*self exited*) dan motor DC yang memiliki penguat terpisah (*separately exited*). Motor DC dengan penguatan terpisah terdiri dari tiga jenis yaitu Motor DC seri, paralel (*shunt*) dan campuran (*compound*). Motor DC memerlukan beberapa komponen penunjang untuk merubah energy listrik menjadi energi mekanis, beberapa komponen penting pada motor DC dijelaskan pada gambar 2.1 dibawah ini:



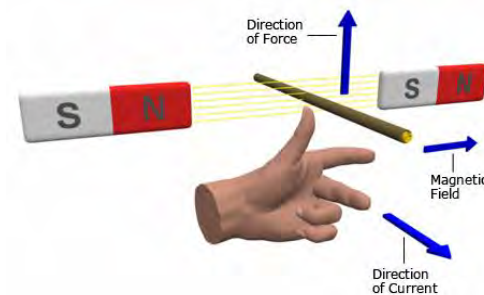
Gambar 2.1 Komponen motor DC

(Sumber : <http://artikel-teknologi.com/prinsip-kerja-motor-listrik/>)

Pada motor DC terdapat kumparan jangkar dan kumparan medan, kedua kumparan ini yang mengakibatkan motor DC dapat berputar. Prinsip kerja motor DC tersebut sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Lorentz yang menyatakan bahwa “Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya” gaya yang dimaksud disini dinamakan gaya Lorentz. Prinsip dari gaya Lorenz ini dapat dijelaskan melalui gambar 2.2.

(Kiran Daware, 2014)

Besaran dari putaran motor DC sendiri dipengaruhi oleh seberapa besar fluks yang di hasilkan. Secara karakteristik tiap jenis motor DC memiliki performa yang berbeda – beda hal ini di karenakan jenis rangkaian yang di gunakan oleh ketiap jenis motor DC tersebut berbeda. Parameter – parameter penunjang dari motor DC adalah medan magnet yang di bangkitkan pada jangkar (E_a), tegangan jangkar (V_a), fluks medan (Φ), torsi motor (T) dan putaran (N).



Gambar 2.2 Kaidah tangan kiri Flemming

(Sumber : <http://www.electrical4u.com/fleming-left-hand-rule-and-fleming-right-hand-rule/>)

2.1 Prinsip Kerja Motor DC

Motor DC merupakan salah satu jenis mesin listrik yang berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi.

Pada prinsipnya motor DC dapat berputar di karenakan adanya fluks magnet pada kumparan medan dan kumparan jangkarnya, fluks magnet ini terjadi dikarenakan adanya arus yang mengalir pada kumparan. Berbeda dengan motor induksi, motor DC berputar sesuai dengan hukum Lorentz dimana jika pada suatu penghantar listrik yang berarus berada di dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk gaya. Medan magnet yang di maksud disini adalah medan magnet yang di bentuk oleh kumparan medan dan arus yang mengalir berada pada kumparan jangkar.

$$F = B \times I \times L \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana F : Gaya yang terbentuk pada penghantar

I : Arus pada kumparan jangkar (Ampere)

B : Kerapatan fluks (weber/m²)

L : Panjang konduktor (m)

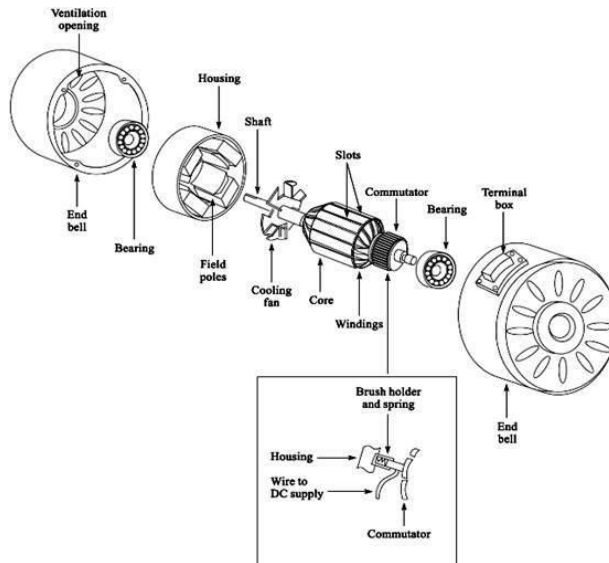
(Theraja, 1994)

Arah putaran dari moror DC bergantung dari arah gaya yang dihasilkan oleh pertemuan arus pada kumparan jangkar yang melewati medan magnet yang di bentuk oleh kumparan medan. Arah gaya yang dihasilkan sesuai dengan kaidah tangan kiri flemming.

2.2 Bagian – bagian motor DC

Untuk menunjang kinerja dari motor DC memerlukan beberapa komponen penunjang dalam menjalankan motor sesuai

dengan prinsip kerjanya. Adapun beberapa komponen penting pada konstruksi motor DC adalah terminal medan, kumparan jangkar, komutator, dan sikat arang.



Gambar 2.3 Komponen Motor DC

(Sumber : <http://www.electrical-knowhow.com/2012/05/electrical-motors-basic-components.html>)

2.2.1 Terminal medan

Secara sederhana dapat dikatakan bahwa motor DC dapat berputar karena ada dua kutub magnet yang saling berinteraksi. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner, sepasang kutub medan yang terdiri dari kutub utara dan kutub selatan ini membentuk fluks magnetik yang bergerak dari kutub utara ke kutub selatan. Pada kasus motor yang berukuran kecil kutub medan dapat berupa magnet

permanent sedangkan motor yang berukuran besar menggunakan kumparan.

(Theraja, 1994)

2.2.2 Kumparan jangkar

Kumparan jangkar adalah bagian motor DC yang terdiri dari lilitan tembaga yang dapat berputar (rotor). Bila arus listrik melewati kumparan jangkar maka akan timbul elektromagnet, elektromagnet inilah yang akan bereaksi terhadap fluks magnet dari medan dan menghasilkan gaya Lorentz. Arah dari gaya Lorentz dipengaruhi oleh arah dari arus yang mengalir pada kumparan jangkar.

(Theraja, 1994)

2.2.3 Komutator

Komponen ini terutama ditemukan pada motor DC dan fungsi utama dari komutator adalah sebagai pembalik arah arus listrik pada kumparan jangkar hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi perubahan arah arus yang bertemu dengan arah fluks medan.

(Theraja, 1994)

2.2.4 Sikat arang (*brush*)

Sikat arang memiliki fungsi sebagai pengantar arus dari sumber tegangan ke komutator, yang biasanya terbuat dari karbon dan berbentuk seperti blok. Sikat arang ini terletak pada pengikat skat arang yang terdapat pada ujung dari motor. Sikat arang dirancang untuk menekan kearak komutator yang berputar hal ini dilakukan dengan cara merangkai sikat arang dengan pegas yang biasanya berupa per.

(Theraja, 1994)

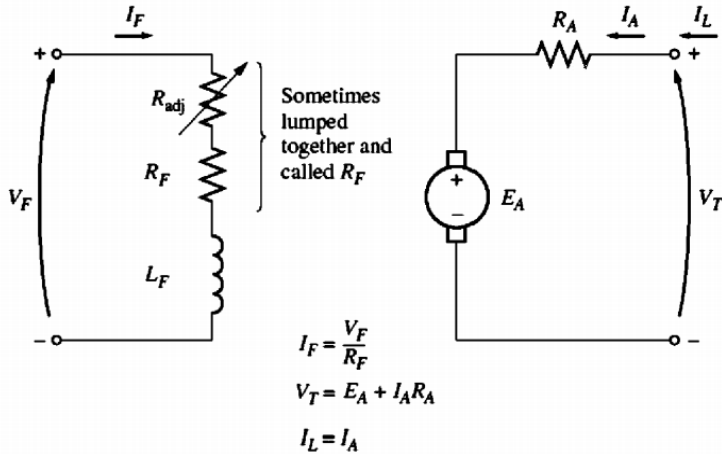
Penggunaan sikat arang yang terbuat dari karbon selama penghantaran arus dapat menimbulkan kerugian daya selama penggunaannya, rugi ini dinamakan dengan *brush contact drop*. *Brush contact drop* adalah tegangan jatuh pada tahanan sikat arang selama arus melewati komutator dan pada akhirnya mempengaruhi tegangan yang melalui terminal jangkar. Nilai dari rugi ini tergantung pada besaran arus dan nilai dari tahannya. Egangan jatuh ini biasanya kecil, bagaimanapun pada praktiknya nilai tegangan jatuh ini dianggap konstan pada tiap kondisi beban yaitu 2 V untuk sikar arang yang terbuat dari karbon dan 0.5 V untuk sikat arang yang terbuat metal grafit.

2.3 Jenis –jenis motor DC

Motor DC biasanya diklasifikasikan berdasarkan dari bagaimana cara pembangkitan medan magnet pada medan. Motor DC dapat diklasifikasikan kedalam dua kelompok yaitu motor DC dengan penguatan sendiri dan motor DC dengan penguatan terpisah.

2.3.1 Motor DC penguatan terpisah

Motor DC dengan penguatan terpisah adalah jenis motor DC yang magnet pada medannya di suplai oleh sumber tegangan yang terpisah dari sumber tegangan yang menyuplai medan magnet pada jangkar. Sehingga tengangan penguatnya dapat di atur tanpa mempengaruhi dari tengangan suplainya. Rangkaian dari motor DC dengan penguatan terpisah digambarkan pada gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.4 rangkaian motor DC penguat terpisah

(Sumber : Fitzgerald AE, Electrical Technology, 2003)

Ketika tegangan suplai dari motor diasumsikan memiliki besaran yang konstan maka pada praktiknya tidak ada perbedaan antara motor DC shunt dan motor DC dengan penguatan terpisah. Persamaan hukum Kirchoff atau yang biasa disebut dengan *Kirchhoff voltage law* (KVL) untuk armatur pada motor ini adalah sebagai berikut :

$$V_T = E_A + I_A R_A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana

V_T : Tegangan terminal

E_A : Tegangan jangkar

R_A : Tahanan jangkar

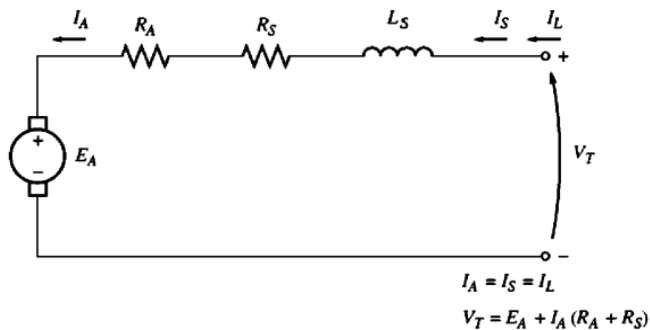
I_A : Arus jangkar

(Fitzgerald, 2003)

2.3.2 Motor DC seri

Motor DC jenis ini dapat di deskripsikan sebagai motor DC yang antara kumparan medan dan jangkarnya di rangkai

secara seri berarti antara kumparan medan dan jangkarnya di suplai oleh sumber tegangan yang sama. Motor DC seri sangat berbeda dengan motor DC *shunt*, hal ini terjadi dikarenakan fluks yang di hasilkan oleh motor DC seri bergantung dari nilai arus jangkarnya. Ketika beban yang diberikan kepada motor DC seri bertambah maka nilai dari fluksnya pun akan bertambah, ketika bertambahnya nilai fluks dari motor hal ini berdampak pada menurunnya nilai putaran dari motor, pada hasilnya adalah motor DC seri memiliki penurunan kecepatan yang tajam pada karakter torsi-putarannya. Pada gambar 2.5 dijelaskan mengenai rangkaian yang terdapat pada motor DC seri.



Gambar 2.5 rangkaian motor DC penguat terpisah

(Sumber : Fitzgerald AE, Electrical Technology, 2003)

Dengan jenis rangkaian yang demikian maka nilai dari arus jangkar arus medan dan arus lininya adalah sama. Karakteristik dari motor DC seri sanga berbeda dari motor

DC shunt, pada dasarnya untuk motor DC jenis ini fluks yang di hasilkan berbagding lurus dengan arus jangkarnya. Jika beban pada motor meningkat maka fluksnya pun juga akan meningkat, bisa di lihat ketika naiknya fluks maka akan menyebabkan menurunnya putaran pada motor tersebut. Motor DC jenis seri ini memiliki karakteristik yaitu terjadi penurunan torsi – putaran yang tajam, selain itu motor DC ini memiliki keunggulan yaitu memiliki torsi yang lebih pada saat putaran awal motor. Persamaan hukum Kircoff atau yang biasa disebut dengan *Kirchhoff voltage law* (KVL) untuk armatur pada motor ini adalah sebagai berikut :

$$V_T = E_A + I_A (R_A + R_S) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana;

V_T : Tegangan terminal

E_A : Tegangan jangkar

R_A : Tahanan jangkar

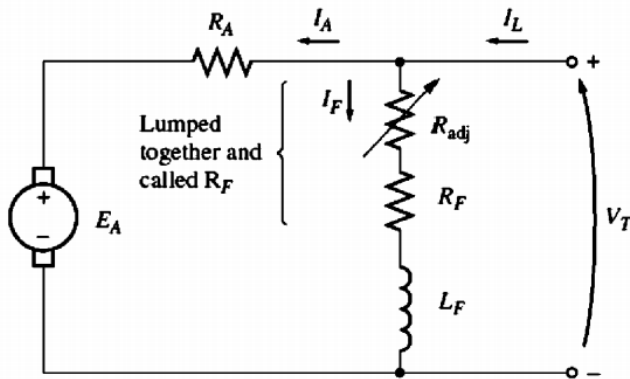
R_S : Tahanan seri

I_A : Arus jangkar

Pengaturan kecepatan pada motor DC seri tidak seperti motor DC *shunt* yang memiliki 3 cara, untuk motor DC seri cara yang paling efektif hanyalah dengan cara mengtur dari tegangan suplai dari motor DC, ketika tegangan di naikan maka putaran dari motorpun akan meningkat.

(Fritzgerald, 2003)

2.3.3 Motor DC *shunt*



Gambar 2.6 rangkaian motor DC penguat terpisah

(Sumber : Fitzgerald AE, Electrical Technology, 2003)

Motor DC *shunt* adalah motor DC yang termasuk ke dalam jenis motor DC dengan penguatan sendiri yaitu penguatan pada kumparan medannya diperoleh langsung dari armatur terminalnya, motor DC *shunt* antara medan dan jangkarna dihubungkan secara paralel. Motor DC *shunt* termasuk ke dalam jenis motor DC dengan penguatan sendiri karena medan dan jangkarna di suplai oleh sumber tegangan yang sama atau biasa di sebut dengan motor DC dengan eksitasi sendiri dimana eksitasi berarti arus yang di gunakan untuk membangkitkan medan magnet.

(Chapman, 2005)

Karakteristik bawaan dari sebuah mesin listrik adalah kuantitas dari keluaran mesin yang dibandingkan satu sama lain, pada motor listrik yang di maksud dengan keluaran mesin adalah nilai dari torsi dan kecepatan motor. Jadi yang

di maksud dengan karakteristik bawaan dari motor adalah perbandingan antara nilai torsi dan putaranya. Motor DC *shunt* ini sendiri memiliki kelebihan yaitu pada saat motor dioperasikan pada kondisi *no load* sampai pada kondisi *full load* motor ini tidak mengalami perubahan kecepatan yang signifikan dengan kata lain motor ini dapat dikatakan memiliki nilai putaran yang konstan. Pada praktiknya jika motor DC *shunt* dengan motor DC dengan penguatan sendiri jika tegangan suplainya konstan. Pada gambar 2.6 digambarkan mengenai rangkaian dari motor DC *shunt*.

(Theraja, 1994)

Ketika pembebanan di lakukan terhadap motor DC *shunt*, pembebanan itu membebani poros dari motor yang kemudian nilai dari torsi load torsi akan melebihi dari nilai torsi induksi pada mesin ini, dan kemudian kecepatan dari motor akan mulai melambat. Ketika kecepatan motor melambat, hal ini menyebabkan terjadinya *voltage drop* ($E_a = K \phi \omega \downarrow$), kemudian arus jangkar dari motor meningkat $I_A = (V_T - E_a \downarrow) / R_A$. Pada saat arus jangkar meningkat hal ini juga mempengaruhi nilai dari torsi induksi yang akan meningkat pula ($\tau_{ind} = K \phi I_A \uparrow$), dan pada akhirnya torsi induksi akan sama dengan *load torque* pada saat kecepatan rendah dari perputaran ω . Persamaan hukum Kirchoff atau yang biasa disebut dengan *Kirchhoff voltage law* (KVL) untuk armatur pada motor ini adalah sebagai berikut :

$$V_T = E_a + I_a R_a \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana;

V_T : Tegangan terminal

E_a : Tegangan jangkar

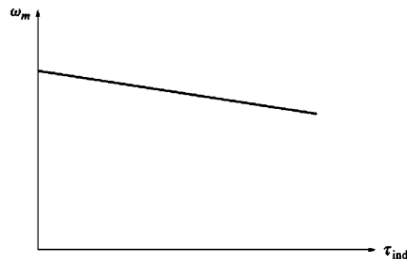
R_A : Tahanan jangkar

IA : Arus jangkar

(Fritzgerald, 2003)

Berdasarkan atas apa yang telah di paparkan diatas nilai dari torsi motor DC di pengaruhi oleh nilai putaran motor dan juga nilai dari arus jangkarnya dimana jika nilai dari putaran semakin besar maka nilai dari torsi akan semakin kecil, sedangkan jika nilai dari arus jangkar semakin besar maka nilai dari torsi akan semakin besar pula. Seangkan hubungan antara arus dengan putaran dapat pula dijabarkan melalui gambar 2.7 dimana dapat dibaca bahwa semakin besar nilai putaran sudut maka akan semakin kecil nilai torsi induksinya.

Sangat penting untuk mencapai kondisi yang di jabarkan diatas dalam hal nilai torsi yang linier dengan nilai besaran putaran yang di dihasilkan. Pada kondisi yang demikian nilai dari tegangan suplai diasumsikan konstan, jika nilai tegangan tidak konstan maka hal tersebut akan mempengaruhi dari bentuk hubungan torsi dengan putaran yang akan dihasilkan.



Gambar 2.7 Hubungan torsi dengan putaran

(Sumber : Fritzgerald AE, Electrical Technology, 2003)

Ketika motor DC *shunt* memiliki jumlah lilitan yang seimbang maka fluks yang di hasilkan akan konstan tanpa mempertimbangkan nilai dari beban, dan kecepatan motor dapat di ketahui begitu pula nilai dari arus jangkar pada tiap nilai pembebanan. Caranya adalah dengan membandingkan nilai dari tegangan jangkar pada saat motor berbeban dan tanpa beban atau dapat di jabarkan dengan rumus di bawah ini:

$$\frac{E_{A2}}{E_{A1}} = \frac{K' \phi n_2}{K' \phi n_1} \dots \dots \dots (2.5)$$

Semenjak nilai dari arus medan konstan yang di karenakan oleh nilai tegangan suplai dan tahanan medan yang nilai dari keduanya konstan, kemudian flux yang di hasilkan bernilai konstan pula. Di karenakan konstannya nilai flux maka dapat diartikan pada saat motor berbeban ataupun tidak berbeban nilai flux akan sama, kemudian nilai K' pun dieliminasi karena nilai K' akan sama untuk setiap motor DC shunt pada saat di bebani ataupun tidak. Sehingga persamaan diatas dapat di sederhanakan menjadi seperti di bawah ini:

$$n_2 = \frac{E_{A2}}{E_{A1}} n_1 \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana;

n_1 : Putaran motor tanpa beban

n_2 : Putaran motor dengan beban

E_{A1} : Tegangan jangkar tanpa beban

E_{A2} : Tegangan jangkar dengan beban

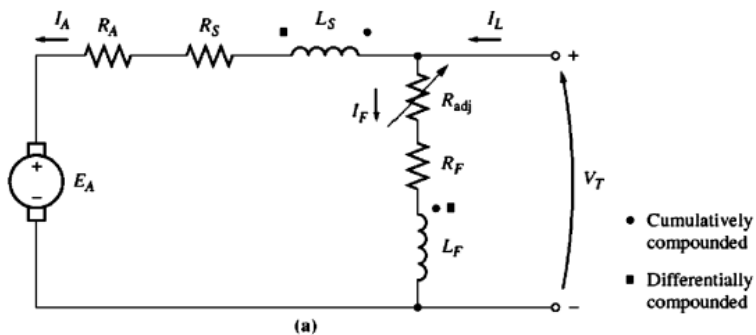
(Fritzgerald, 2003)

Dalam melakukan pengatura kecepatan pada motor DC dapat menggunakan metode di bawah ini:

- Melakukan pengaturan pada tahanan medannya.
- Mengatur tegangan yang di suplai ke kumparan jangkar dari motor DC.
- Merangkai resistor secara seri dengan sirkuit armature.

2.3.4 Motor DC *compound*

Motor DC *compound* adalah motor DC yang memiliki medan *shunt* dan medan seri pada rangkaiannya. Pada gambar 2.8 dijelaskan mengenai gambar dari rangkaian motor DC *compound*.



Gambar 2.8 Rangkaian motor DC kompon

(Sumber : Fitzgerald AE, Electrical Technology, 2003)

Arus yang mengalir melalui tanda dot akan menghasilkan gaya magnet positif, jika arus mengalir melalui kedua kumparan medan maka akan resultan dari gaya magnet menanbah besar dari total gaya magnet yang dihasilkan. Kondisi dinamakan sebagai *cumulative compounding*. Jika arus yang mengalir hanya melalui satu kumparan jangkar dan keluar pada kumparan yang lainnya maka gaya magnet yang

di hasilkan akan berkurang. Gaya kirchoff yang berlaku pada motor DC Compound adalah dijelaskan pada rumusan 2.7

$$V_T = E_A + I_A (R_A + R_S) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana;

V_T : Tegangan terminal

E_A : Tegangan jangkar

R_A : Tahanan jangkar

R_S : Tahanan seri

I_A : Arus jangkar

(Chapman, 2005)

Pada motor DC *comulatively compound* terdapat fluks yang nilainya tetap dan yang lainnya proporsional terhadap dari jumlah arus jangkarnya. Oleh karena itu, motor DC *comulatively compound* memiliki torsi awal yang lebih besar jika di bandingkan dengan motor DC *shunt*. Motor DC *comulatively compound* memberikan kombinasi yang terbaik antara motor DC *shunt* dan *motor DC Compound*, seperti motor DC jenis seri motor DC jenis ini mamiliki torsi lebih pada saat putaran awal atau starting begitu juga seperti motor DC jenis *shunt* yang tidak terjadi putaran berlebih (*overspeed*) pada saat tidak berbedan.

Berdasarkan tipikal eksitasi yang diberikan motor DC *compound* dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu motor DC *cumulative compound* dan motor DC *differential compound*, eksitasi adalah arus yang di airkan guna membangkitkan medan magnet pada medan maupun jangkar. Motor DC *cumulative compound* adalah motor DC yang fluks medan *shunt*-nya membantu fluks medan utamanya, dimana medan utamanya dirangkai seri dengan kumparan armatur dari motor

DC *compound*. Berarti total fluks yang dihasilkan oleh motor DC *cumulative compound* adalah jumlah fluks yang dihasilkan dari medan *shunt* dan seri.

Sedangkan, motor DC *differential compound* adalah motor DC yang fluks medannya di produksi oleh medan *shunt* yang di kurangi oleh fluks yang dihasilkan oleh medan seri. Fluks yang dihasilkan oleh motor DC jenis ini kurang dari fluks yang aslinya dihasilkan, dan pada dasarnya motor DC *compound* jenis ini pada praktiknya jarang di gunakan. Pada gambar 2.9 diatas digambarkan hubungan torsi dan putaran untuk tiap jenis motor DC



Gambar 2.9 Hubungan torsi dengan putaran pada motor DC

(Sumber : J. Chapman, Stephan, Electrical Machinery, 2005)

Pada dasarnya cara untuk melakukan pengaturan kecepatan pada motor DC kompon sama halnya dengan motor DC *shunt*, yaitu dengan cara sebai berikut :

- a. Melakukan pengaturan pada tahanan medannya (R_f)
- b. Melakukan pengaturan pada tegangan jangkar motor (V_a)
- c. Melakukan pengaturan tahanan jangkarnya (R_a)

2.3.5 Motor DC *brushless*

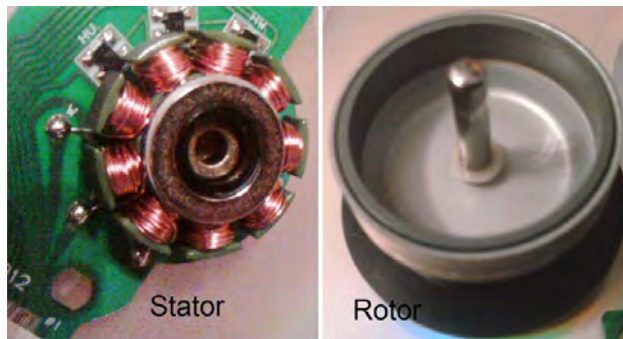
Motor DC tanpa sikat arang dapat dikatakan sebagai motor DC dengan komutasi elektronik yang tidak memiliki sikat arang. Motor dengan tipe ini memproduksi torsi yang besar pada kecepatan yang tinggi. Pada motor DC tapa sukat arang, untuk mengatasi arus yang dialiri ke terminal jangkar magnet permanen berputar mengitari terminal jangkar yang diam. Dengan komutasi elektronik memiliki komutasi yang fleksibel. Motor ini dapat dioperasikan secara halus dan dapat menjaga torsi pada kecepatan stasioner.

(Kiran Daware, 2014)

Sebelum menjelaskan tentang prinsip kerja dari motor DC tanpa sikat arang, terlebih dahulu harus mengetahui fungsi dari motor DC tanpa sikat arang ini. Pada motor tanpa sikat arang, terdapat magnet permanen pada bagian luar motor dan dan terminal jangkar yang emiliki medan elektromagnetik didalamnya. Elektromagnetik ini menciptakan medan magnet pada jangkar ketika daya diberikan dan membuat jangkar berputar. Sikat arang merubah polarits dari kutub magnet untuk membuat jangkar terus berputar. Motor DC dengan sikat arang dan tanpa sikat arang memiliki prinsip kerja yang sama. Motor DC tanpa

sikat arang memiliki dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Rotor adalah bagian motor yang berputar dan memiliki magnet rotor, sedangkan stator adalah bagian motor yang diam atau stationer dan memiliki kumparan stator. Pada motor DC tanpa sikat arang permanen magnet dipasang pada bagian stator dan kumparan tembaga dipasangkan pada stator. Transistor dengan daya yang tinggi digunakan untuk mengaktifkan electromagnet untuk memutar poros motor.

(Kiran Daware, 2014)



Gambar 2.10 Rotor bagian luar BLDC

(Sumber : <http://www.electricaleasy.com/2015/05/brushless-dc-blde-motor.html>)

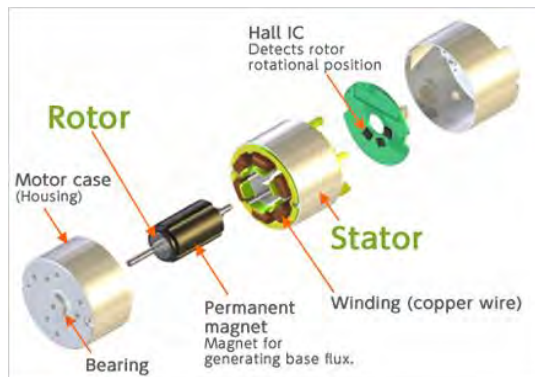
Motor DC tanpa sikat arang memiliki dua jenis yaitu rotoi motor baian luardan rotor motor bagian dlaam. Pada dasarnya perbedaannya hanyalah dari segi rancangan, prinsip kerja dari dua jeis motor DC tanpa sikat arang itu sama.

Pada rancangan motor DC tanpa sikat arang dengan rotor bagian dalam, rotor diletakan pada bagian dalam dari motor sedagkan kumparan stator mengelilingi rotor. Sebagai

rotor yang terletak pada inti motor, rotor magnet tidak mengisolasi panas didalamnya dan panas dapat dengan mudah dilepaskan. Dikarenakan alasan ini, rotor bagian dalam memproduksi torsi yang besar dan pada umumnya sering digunakan.

Sedangkan pada rotor bagian luar, rotor mengelilingi kumparan yang terletak pada bagian pusat motor. Magnet pada rotor memperangkap panas dan panas pada inti motor tidak dapat menghilang. Motor dengan rancangan seperti ini digunakan pada aplikasi arus yang rendah.

(Kiran Daware, 2014)



Gambar 2.11 Rotor bagian luar BLDC

(Sumber : <http://www.electricaleasy.com/2015/05/brushless-dc-blDC-motor.html>)

Adapun keuntungan dari motor DC tanpa sikat arang adalah sebagai berikut:

- a. Motor tanpa sikat arang lebih efisien dikarenakan putaran yang dihasilkan sesuai dengan arus yang diberikan, bukan tegangannya

- b. Karena tidak adanya sikat arang, rugi mekanis dikarenakan gesekan sedikit jadi dapat meningkatkan efisiensi motor.
- c. Motor DC tanpa sikat arang dapat dioperasikan dengan kecepatan yang tinggi pada kondisi apapun.
- d. Suara yang dihasilkan lebih halus pada saat pengoperasaannya.
- e. Karena tidak adanya sikat arang motor DC jenis ini lebih handal dan lebih mudah dalam perawatannya.

Sedangkan kerugian dari motor DC tanpa sikat arang ini adalah sebagai berikut:

- a. Harga motor DC tanpa sikat arang lebih mahal daripada motor DC jenis lainnya.
- b. Daya yang dapat disuplai oleh motor DC ini terbatas, jika tidak panas yang terlalu besar akan melemahkan medan magnet dan akan merusak isolasi dari kumparan.

(Kiran Daware, 2014)

2.3.6 Motor DC Magnet Permanen

Pada motor DC, terminal jangkar berputar dalam medan magnet. Dasar prinsip kerja dari motor DC adalah ketika konduktor dialiri arus listrik yang diletakan pada medan magnet, disana akan terdapat gaya mekanis yang dialami oleh konduktor tersebut. Semua jenis motor DC bekerja atas dasar prinsip kerja ini. Oleh karena itu dalam membuat sebuah motor DC penting untuk membangkitkan medan magnet. Medan magnet ada dikarenakan adanya magnet, magnet bisa didapatkan dengan berbagai cara contohnya dengan electromagnet ataupun dengan permanen magnet.

Motor DC permanen magnet adalah motor DC yang kutub magnetnya berasal dari magnet permanen. Pada beberapa jenis pemakaian motor DC permanen magnet memiliki sejumlah keuntungan jika dibandingkan dengan motor DC *shunt*. Karena pada motor ini tidak membutuhkan rangkaian medan, maka motor ini tidak memiliki rugi tembaga pada terminal medan jika dibandingkan dengan motor DC *shunt*. Karena tidak adanya rangkaian lilitan pada terminal medan, rugi motor DC permanen magnet lebih kecil jika dibandingkan dengan motor *shunt*. Motor DC permanen magnet umumnya digunakan untuk daya yang kecil sampai dengan menengah, ketika ekspansi dan ruang untuk terminal medan tidak tersedia.

(Fritzgerald, 2003)

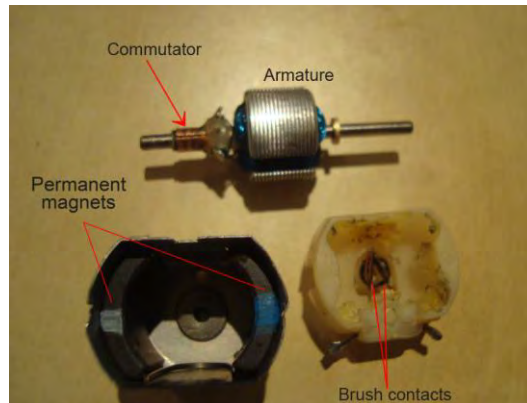
Namun motor DC permanen magnet juga memiliki beberapa kekurangan. Permanen magnet tidak bisa memproduksi intensitas fluks yang tinggi seperti terminal medan yang disuplai secara eksternal. Jadi motor DC permanen magnet memiliki torsi induksi per arus jangkar yang kecil dibandingkan dengan motor DC *shunt* dengan daya dan ukuran yang sama. magnet untuk jangkar itu sendiri.

(Kiran Daware, 2014)

Pada motor DC permanen magnet kutub medan dibuat oleh permanen magnet. Kontruksi dari motor DC permanen magnet terdiri dari dua bagian yaitu stator yang berupa magnet permanen dan terminal jangkar yang berupa lilitan tembaga. Walaupun pada motor DC dengan magnet permanen tidak dibutuhkan kumparan medan, tetapi kadang – kadang kumparan medan juga digunakan bersamaan dengan magnet

permanen. Ini dikarenakan jika magnet permanen kehilangan kekuatannya, medan magnet yang hilang tersebut dapat dikompensasi oleh eksitasi medan melalui kumparan medan tersebut. Pada gambar 2.12 dapat dilihat bagian – bagian dari motor DC permanent magnet.

(Kiran Daware, 2014)



Gambar 2.12 Rotor bagian luar BLDC

(Sumber : <http://www.electricaleasy.com/2015/05/brushless-dc-bldc-motor.html>)

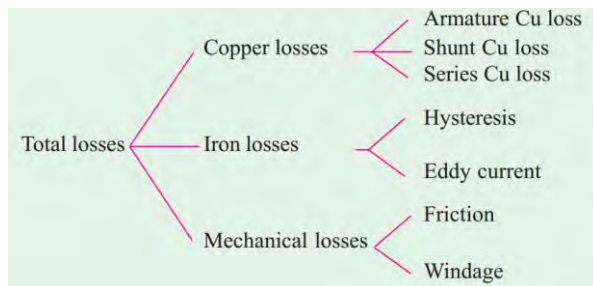
Motor DC dengan magnet permanen pada dasarnya adalah mesin yang sama dengan motor DC *shunt*, hanya saja fluks yang dihasilkan tetap. Oleh karena itu, pengaturan kecepatan motor DC tetap bisa dilakukan dengan cara memvariasikan arus medan ataupun fluksnya. Satu – satunya metode yang dapat dilakukan untuk mengatur kecepatan motor DC jenis ini adalah dengan mengatur tegangan jangkarnya dan mengatur tahanan jangkarnya. Untuk karakteristik dari motor jenis ini pada tipikalnya sama dengan motor DC *shunt*.

Aplikasi motor DC jenis ini secara luas digunakan untuk motor DC yang berukuran kecil dan tidak digunakannya kontrol motor. Seperti pada starter mobil, mainan, wiper, penyejuk ruangan, kipas computer dan masih banyak lainnya.

(Kiran Daware, 2014)

2.4 Rugi – rugi motor DC

Seperti yang kita ketahui energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, energi hanya bisa di pindahkan atau di salurkan dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Pada motor DC terjadi perubahan energi yaitu energi listrik menjadi energi mekanis, dalam proses ini total energi yang di gunakan oleh motor tidak semuanya berubah menjadi energi mekanis atau bisa dikatakan tidak semua daya masukan menjadi daya keluaran yang di hasilkan, hal ini terjadi dikarenakan adanya reduksi efisiensi dari motor, efisiensi adalah rasio perbandingan antara daya keluaran dan daya inputan. Beberapa elemen dari daya masukan akan terbuang dalam berbagai bentuk, bentuk dari rugi yang terjadi bermacam – macam antara satu mesin dengan yang lainnya. Rugi ini selain mengurangi nilai efisiensi juga menaikkan temperatur dari motor DC.



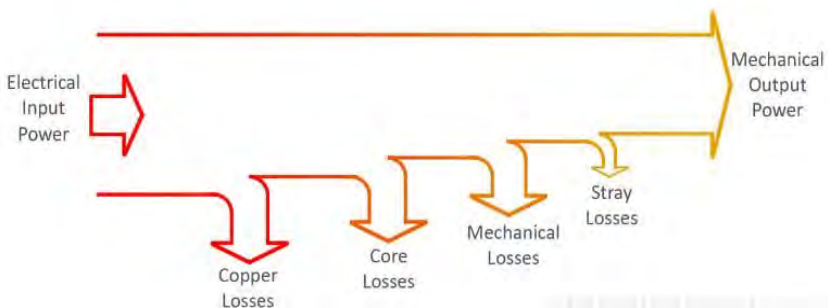
Gambar 2.13 Rugi Motor DC

(Sumber : Theraja, 1994)

Pada motor DC terdapat rugi – rugi yang mempengaruhi performa dari motor DC tersebut, rugi ini berdampak berkurangnya daya keluaran dari motor sedangkan daya inputnya dapat di hitung melalui perhitungan yang dimana harus di ketahui nilai dari tegangan dan arus yang masuk. Rugi – rugi yang terjadi pada motor DC di bagi kedalam tiga jenis yaitu rugi tembaga, rugi besi dan rugi mekanis. Pada motor DC *shunt* rugi tembaga pada medan nilainya konstan dengan demikian rugi tembaga pada medan biasanya disebut dengan rugi konstan atau *constant losses* (W_c).

Selain rugi yang telah diapaparkan diatas terdapat juga rugi lainnya yang dinamakan dengan *stray load losses*, rugi ini disebabkan oleh adanya arus pendek pada kumparan selama mengalami komutasi, sebaliknya fluks pada medan armature dan banyak rugi lainnya sulit untuk dijelaskan. Namun, rugi ini bernilai 1 % dari total daya keluaran motor.

(Theraja, 1994)



Gambar 2.14 Diagram daya motor DC

(Sumber : Theraja, 1994)

Metode paling mudah untuk mempelajari tentang rugi pada motor ini adalah dengan mempelajari *power flow diagram*. Diagram ini memvisualisasikan sejumlah daya yang hilang dikarenakan beberapa jenis rugi yang terjadi dan berapa daya yang benar-benar dikonversi menjadi daya keluaran. Pada gambar 2.14 diatas dijelaskan mengenai *power flow* dari motor mulai dari daya masukan sampai menjadi daya keluaran.

2.4.1 Rugi tembaga

Rugi tembaga adalah rugi lilitan yang terjadi pada saat arus mengalir melalui lilitan tembaga, rugi ini juga sering disebut dengan rugi elektis atau rugi karena lilitan. *Losses* ini timbul dikarenakan nilai tahanan yang ada pada lilitan tembaga baik itu pada kumparan jangkar ataupun pada kumparan medan. Pada motor DC terdapat dua jenis lilitan, yaitu kumparan jangkar dan kumparan medan rugi ini dinamakan rugi tembaga disebabkan oleh material yang digunakan sebagai lilitan konduktor adalah tembaga (Cu). Dengan demikian, rugi tembaga dapat dikategorikan kedalam tiga jenis yaitu rugi tembaga pada jangkar, rugi tembaga pada medan dan rugi tahanan sikat arang. Rugi tembaga ini sebanding dengan kuadrat dari nilai arus yang mengalir melalui lilitan tembaga.

(Theraja, 1994)

a. Rugi tembaga pada jangkar

Armature copper losses atau rugi tembaga pada jangkar adalah rugi yang disebabkan oleh kumparan jangkar yang dilewati oleh arus listrik yang menyebabkan terjadinya elektromagnetik, rugi ini ekuivalen dengan nilai dari tahanan jangkar dari motor DC. Nilai dari rugi tembaga

pada jangkar bernilai 30 % dari total rugi yang terdapat pada motor DC. Untuk mencari nilai dari rugi tembaga pada jangkar dapat digunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Armatur Cu losses} = I_a^2 R_a \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana

I_a : Arus jangkar

R_a : Tahanan jangkar

(Fritzgerald, 2003)

b. Rugi tembaga pada medan

Field copper losses atau rugi tembaga pada medan adalah rugi pada motor DC yang di akibatkan oleh adanya arus yang melalu lilitan tembaga pada medan, nilai dari rugi ini sebanding dengan nilai tahanan yang terdapat pada kumparan medan dari motor. Nilai dari rugi tembaga pada medan adalah konstan atau tetap untuk motor DC *shunt* pada umumnya pada motor DC jenis *shunt* rugi tembaga pada medan di sebut sebagai rugi konstan atau *constant losses* (W_c). Untuk mendapatkan nilai dari rugi tembaga pada medan dapat di gunakan rumus sebagaimana di jabarkan dibawah ini:

$$\text{Field Cu loss} = I_{sh}^2 R_{sh} \dots \dots \dots (2.9)$$

Atau untuk motor seri adalah sebagai berikut :

$$\text{Field Cu loss} = I_{se}^2 R_{se} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana;

I_{sh} : Arus medan (*shunt*)

R_{sh} : Tahanan medan (*shunt*)

I_{se} : Arus seri (medan)

R_{se} : Tahanan seri (medan)

(Fritzgerald, 2003)

c. *Brush contact losses*

Rugi tahanan sikat arang adlah rugi yang di akibatkan oleh arus yang melewati sikat arang ke komutator. Nilai dari rugi sikat arang ini sudah termasuk kedalam rugi tembaga pada jangkar.

2.4.2 Rugi besi

Ketika inti besi pada kumparan jangkar berputar melalui medan magnet dari kumparan medan, beberapa rugi terjadi pada inti besi yang di sebut dengan rugi besi. Ketika inti dari jangkar yang terbuat dari besi melewati medan magnet, arus juga akan terinduksi ke besi itu sendiri. Rugi yang terjadi pada besi ini terbagi atas dua jenis yaitu rugi histerisis dan rugi *eddy current*.

a. Rugi histerisis

Pada kumparan atau lilitanjangkar terjadi rugi yang diakibatkan oleh berbaliknya magnetisasi pada inti besi, rugi ini dinamakan dengan rugi histerisis. Ketika intibesi dari armatur memotong medan magnet, inti besi mengalami satu putaran magnetisasi yang berbalik. Sebagian dari armatur berada di awah dari kutub selatan pada magnet, setelah melalui setengah putaran, bagian yang sama berada dibawah kutub utara dari magnet, dan arah dari magnet berubah ketika berbaliknya arah dari fluks magnet pada inti besi. Proses berbaliknya arah medan magnet pad armature iini mengkonsumsi sejumlah energi yang disebut dengan rugi histerisis. Persentase dari rugi ini tergantung dari kualitas dan volume dari besi yang digunakan. Frekuensi

dari medan magnet yang berbalik dapat di jabarkan dengan rumus dibawah ini:

$$f = \frac{P \cdot N}{120} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana;

P : Jumlah kutub

N : Putaran (RPM)

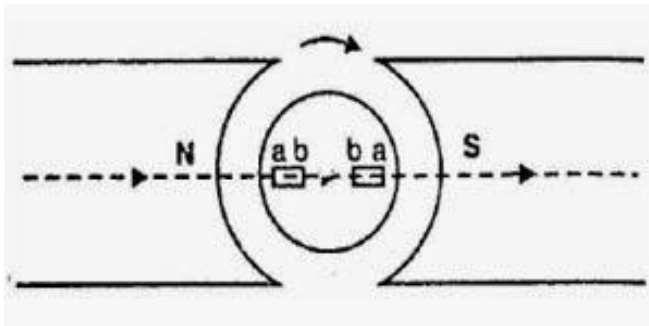
Sedengkan untuk menentukan nilai dari rugi histerisis yang terjadi dapat digunakan rumus dibawah ini:

$$W_h = \eta \cdot B_{max}^{1.6} \cdot f \cdot V \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana;

B_{max} : *maximum flux density*

f : fukuensi *magnetic reversal*



Gambar 2.15 Rugi Histerisis

(Sumber : <http://www.studyelectrical.com/2014/05/losses-in-dc-machine-dc-generator-and.html>)

Untuk mereduksi rugi histerisis tidak bisa dilakukan seperti mereduksi rugi *eddy current*, yaitu dengan menggunakan inti besi yang telah dilaminasi. Besi dengan kefisien histerisis yang kecil di gunakan untuk mereduksi dari jumlah rugi histerisis yang terjadi.

b. Rugi *eddy current*

Berdasarkan pada hukum Faraday tentang induksi *electromagnet.*, ketika sebuah inti besi berputar melewati suatu medan magnet, maka ggl juga terinduksi kedalam inti besi. Begitu pula, ketika jangkar berputar dalam medan magnet maka perpotongan fluks yang terjadi akan menyebabkan ggl, walaupun gaya gerak listrik yang terjadi dalam jumlah yang kecil tetap akan menyebabkan adanya arus pada inti besi dikarenakan konduktifitas dari besi. Arus yang mengalir ke inti besi ini tidak berguna bagi mesin itu sendiri baik motor DC maupun generator DC. Rugi ini dinamakan dengan rugi *eddy current*. Rugi ini nilainya hampir konstan untuk mesin DC. Rugi ini dapat diminimalisir dengan memilih material untuk inti besi yang sudah lapiasi. Untuk menghitung nilai dari rugi histerisis dapat digunakan rumus dibawah ini:

$$W_e = K.B_{max}^2 f^2 t^2 V^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana;

B_{max} : *maximum flux density*

f : fukuensi *magnetic reversal*

t : ketebalan dari tiap laminasi

V : Volume inti besi

(Theraja, 1994)

2.4.3 Rugi mekanis

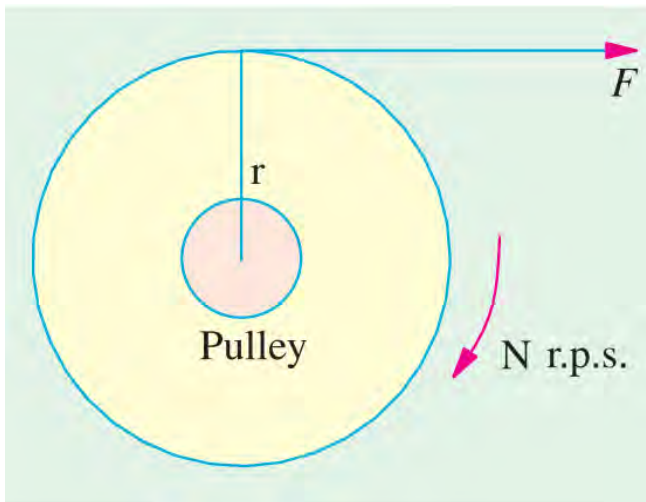
Selain rugi yang disebabkan oleh adanya elektromagnet ada pula rugi yang disebabkan oleh gesekan mekanis yang terjadi pada motor DC rugi ini dinamakan dengan rugi mekanis. Rugi ini disebabkan oleh adanya gesekan pada komponen yang bergerak seperti *bearing*, sikat arang, komutator Dll. Selain rugi yang disebabkan oleh adanya

gesekan pada rugi mekanis juga terdapat rugi yang disebabkan oleh adanya udara pada lilitan tembaga, rugi dinamakan dengan *windage losses*.

(Theraja, 1994)

2.5 Torsi dan daya motor DC

Ketika mesin DC dibebani baik sebagai generator ataupun sebagai motor, rotor konduktor teraliri arus. Konduktor ini terletak pada medan magnet dari ruang udara. Dengan demikian tiap konduktor memiliki gaya, konduktor terletak dekat permukaan rotor pada jarak yang sama dari titik pusat rotor. Pada teorinya torsi adalah perputaran gaya terhadap sumbu porosnya. Torsi ini diukur berdasarkan seberapa besar gaya yang dihasilkan dan radius dimana gaya ini bekerja. Pada gambar 2.16 dijelaskan gaya yang bekerja pada sudut benda yang berputar.



Gambar 2.16 Torsi motor DC

(Sumber : Theraja, 1994)

Torsi terbaik dijelaskan oleh DR Huge D.Young adalah pengukuran kuantitatif dari kecenderungan gaya yang dikarenakan oleh gerak rotasi atau bisa divisualisasikan pada gambar 2.16. Dengan demikian nilai dari torsi dapat dijabarkan pada rumus 2.14 sebagai berikut:

$$T = F \times r \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana;

F : gaya yang bergerak linier

r : radius dari objek yang berputar

Ataupun dapat dikatakan torsi adalah gaya yang bekerja dikalikan dengan jarak, jarak yang dimaksud disini adalah jarak dari pusat putaran yaitu poros dari rotor motor jadi bisa dijabarkan dengan rumus keliling lingkaran dikarenakan gerak rotasi tersebut menghasilkan bentuk lingkaran.

$$T = F \times 2 \pi r \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana;

F : gaya yang bergerak linier

R : jari – jari lingkaran

Sementara itu untuk daya yang dihasilkan adalah torsi dikalikan dengan kecepatan putaran dalam satuan *watt* yaitu dapat dijabarkan dalam rumus 2.16.

$$P = F \times 2 \pi r \times N \dots\dots\dots(2.16)$$

Sekarang telah diketahui bahwa kecepatan sudut (ω) adalah $2\pi N$. Kemudian ketika di masukan kedalam rumus 2.14 daya yang di hasilkan adalah torsi (P) dikalikan dengan kecepatan sudut (ω). Atau seperti rumus 2.15 berikut ini:

$$P = T \times 2 \pi N \dots\dots\dots(2.17)$$

Jika N dalam dalam satuan rpm maka daya yang dihasilkan dapat di hitung dengan menggunakan rumus 2.18 dibawah ini:

$$P = \frac{2\pi N}{60} \times T \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana;

N : putaran motor

T : torsi

Kemudian dapat diketahui pula bahwa torsi motor dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu torsi yang disebabkan oleh jangkar pada saat motor sedang berputar dan torsi yang digunakan motor untuk memutar beban yang diberikan atau dapat disebut dengan torsi poros.

2.5.1 Torsi jangkar

Pada saat motor berputar terdapat gaya yang bekerja pada jarak antara pusat poros rotor dengan bagian terluar dari rotor halini dinamakan dengan torsi. Torsi yang disebabkan oleh armatur pada saat motor berputar dinamakan dengan torsi armatur. Jika torsi armatur T_a dalam N/m dan daya yang dihasilkan adalah sama dengan $T_a \times 2\pi N$, sedangkan kita ketahui bahwa daya elektrik ketika dikonversi menjadi daya mekanis pada armatur akan menjadi $E_b I_a$ dalam satuan *watt*. Sehingga dapat dirumuskan untuk mencari nilai torsi armatur pada rumusan 2.19 dalam satuan N.m

$$\begin{aligned} P &= T_a \times 2\pi N \\ E_b I_a &= T_a \times 2\pi N \\ T_a &= \frac{E_b I_a}{2\pi N / 60} \dots\dots\dots(2.19) \end{aligned}$$

Dimana;

E_b : Gaya gerak listrik

I_a : Arus jangkar

N : Putaran dalam rpm

(Theraja, 1994)

2.5.2 Torsi poros

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya jika pada motor DC terdapat rugi-rugi yang menyebabkan tidak semua daya yang digunakan oleh motor menjadi daya keluaran yang dihasilkan begitu pula dengan torsi, torsi armatur yang dihasilkan motor tidak semuanya dapat digunakan dikarenakan beberapa persennya telah tereduksi oleh rugi besi dan mekanis yang terjadi pada motor DC.

Torsi yang benar – benar tersedia untuk digunakan dinamakan torsi poros dinamakan demikian karena torsi ini terletak pada poros motor itu sendiri. Perhitungan nilai dari torsi poros berdasarkan pada nilai dari daya keluaran motor setelah dikurangi dengan rugi – rugi yang terjadi pada motor seperti yang dijabarkan pada rumusan 2.18 dibawah ini:

$$P_{Out} = T_{sh} \times 2\pi N$$

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{2\pi N/60} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana;

P_{out} : Daya keluaran motor

N : Putaran dalam rpm

(Theraja, 1994)

2.5.3 Daya dan efisiensi

Daya adalah gaya yang dihasilkan oleh motor untuk memutar rotor pada kecepatan nominal. Daya yang dihasilkan motor tergantung dari beban yang diberikan kepada motor sebagaimana pula torsi yang diberikan oleh terminal jangkar juga tergantung dari beban yang diberikan. Daya pada motor DC dapat dibagi menjadi dua yaitu daya input dan daya output, untuk daya input dapat dihitung menggunakan rumus 2.21 dibawah ini:

$$P = (V \times I_a) + (V \times I_f) \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana,

V : Tegangan masukan

I_a : Arus jangkar

I_f : Arus medan

Ketika motor berputar pada saat bersamaan pula terjadi rugi – rugi, rugi ini mereduksi nilai dari torsi dan daya yang dihasilkan oleh motor. Daya yang telah di reduksi oleh rugi yang terjadi ini dinamakan dengan daya keluaran motor. Untuk mengetahui besaran dari nilai daya keluaran motor dapat digunakan persamaan 2.22 dibawah ini :

$$P_{out} = P_{In} - \text{Total losses} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana,

P_{in} : Daya masukan motor

Atau bisa digunakan juga persamaan ini

$$P_{out} = T_{Ind} \times \omega_m \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana,

T_{ind} : Torsi jangkar

ω_m : Kecepatan sudut

Sedangkan kecepatan sudut didapat dengan menggunakan rumusan 2.23 dibawah ini:

$$\omega_m = \frac{N \times 2\pi}{60} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana;

N : Putaran dalam rpm

Setelah mengetahui besaran dari daya masukan dan daya keluaran dari motor kita dapat menentukan besaran dari efisiensi motor, efisiensi adalah ukuran yang digunakan untuk menentukan seberapa efektif mesin yang telah dibuat. Untuk menentukan besaran dari efisiensi dapat dilakukan dengan cara membandingkan daya keluaran motor dengan daya masukan yang diberikan dengan ini dapat diketahui nilai daya yang terbuang Selama proses. Untuk menghitung efisiensi motor dapat digunakan persamaan 2.24

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{In}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana,

P_{in} : Daya masukan motor

P_{Out} : Daya keluaran motor

(Theraja, 1994)

2.6 Pengaturan kecepatan motor DC

Pengaturan kecepatan adalah sebuah perubahan kecepatan berputar yang disengaja sesuai dengan nominal tertentu yang diperlukan untuk pekerjaan yang spesifik. Pengaturan kecepatan berbeda dengan aturan kecepatan dimana aturan kecepatan adalah perubahan kecepatan natural yang terjadi karena adanya perubahan beban pada poros. Pengaturan kecepatan bisa

dilakukan secara manual oleh operator ataupun oleh sebuah alat pengaturan otomatis. Pengaturan kecepatan untuk tiga jenis motor DC dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- a. Metode pengaturan fluks.
- b. Metode control jangkar atau *rheostatic*.
- c. Metode control tegangan (V)

(Theraja, 1994)

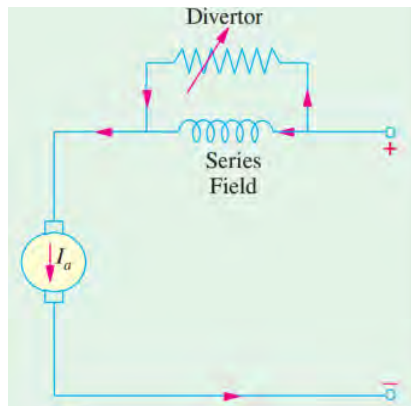
2.6.1 Metode pengaturan flux

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya kecepatan motor DC proporsional dengan nilai dari fluks yang dihasilkan. Dengan demikian mengurangi nilai fluks dapat mengurangi kecepatan motor dan sebaliknya. Metode pengaturan fluks untuk mengatur kecepatan motor DC pada motor DC seri dan DC *shunt* dijelaskan sebagai berikut ini:

a. Motor DC seri

1. Metode *field divertor*

Pada pengaturan kecepatan menggunakan metode ini digunakan alat yang bernama diverter, guna dari diverter ini adalah untuk mengurangi arus yang masuk ke medan seri dengan cara memasang secara paralel variable tahanan dengan medan seri. Dengan demikian arus juga akan mengalir ke diverter yang menyebabkan berkurangnya nilai fluks medan, semakin kecil nilai tahanan dari diverter maka akan menghasilkan semakin kecilnya nilai arus dari medan, maka menyebabkan fluks lebih sedikit, oleh karena menurunnya nilai fluks maka akan menyebabkan naiknya nilai putaran motor.



Gambar 2.17 rangkaian *field divertor* motor DC

(Sumber : Theraja, 1994)

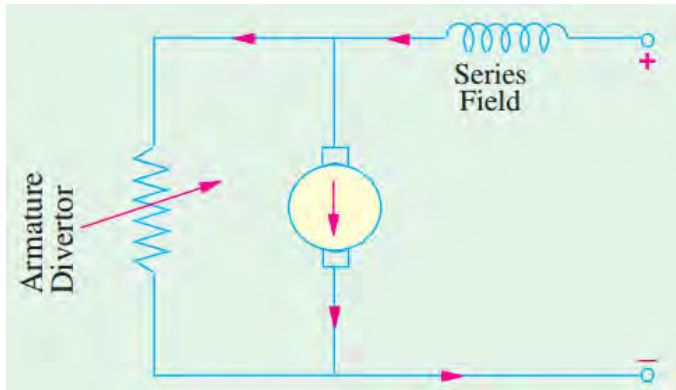
Metode pengaturan kecepatan ini memberikan kecepatan diatas nilai kecepatan nominal dan metode ini umumnya digunakan pada penggerak listrik dimana kecepatan harus bertambah secepatnya ketika nilai beban bertambah. Gambar rangkaian *field divertor* dapat dilihat pada gambar 2.17

(Theraja, 1994)

2. Metode *armature divertor*

Perbedaan antara *field divertor* dengan *armature divertor* adalah dari cara merangkainya yaitu untuk armatur divertor ini variable tahanan dirangkai paralel dengan jangkar. Metode ini memberikan kecepatan motor yang lebih kecil dari pada kecepatan normalnya. Untuk mengatur kecepatan motor dengan metode ini dilakukan dengan cara mengatur variable tahanannya.

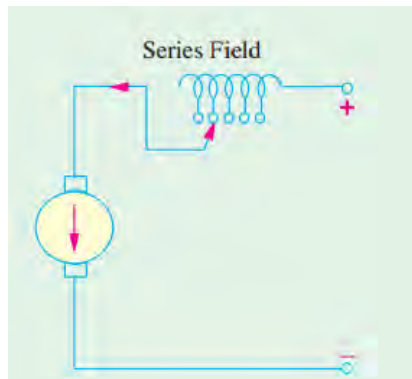
Rangkaian *armature diverter* pada motor DC seri dapat dilihat pada gambar 2.18



Gambar 2.18 rangkaian *field diverter* motor DC

(Sumber : Theraja, 1994)

3. Metode *tapped field control*



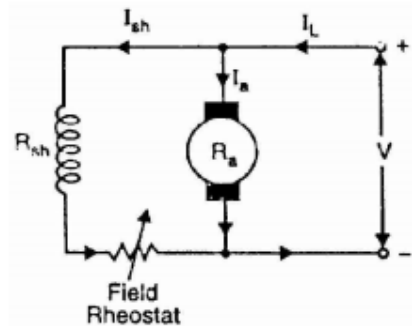
Gambar 2.19 Rangkaian *tapped field control* motor DC

(Sumber : Theraja, 1994)

Ini adalah metode lainnya untuk menaikkan putaran motor dengan cara mereduksi nilai fluksnya dan itu dilakukan dengan cara menurunkan jumlah lilitan pada medannya yang berdampak pada aliran arus yang melaluinya. Dalam metode ini dengan medan penuh, motor akan berputar pada kecepatan minimum yang dapat dinaikan secara bertahap memotong sejumlah lilitan dari medan seri. Metode ini biasanya digunakan pada traksi elektrik.

b. Motor DC *shunt*

Seperti yang telah diketahui bahwa putaran motor equivalen dengan nilai arusnya atau berbanding terbalik dengan nilai fluks yang dihasilkan. Dengan mengurangi nilai fluks, maka kecepatan motor dapat ditingkatkan dan sebaliknya. Hal ini dinamakan dengan metode kontrol fluks.



Gambar 2.20 Rangkaian *field rheostat* motor DC

(Sumber : Chapman, 2005)

Untuk mengontrol fluks, diperlukan sebuah rheostat yang dirangkai seri dengan medan *shunt*. Menambahkan tahanan tambahan pada medan *shunt* akan menaikkan putaran yang dihasilkan oleh motor hal ini disebabkan oleh menurunnya nilai dari fluks dikarenakan menurunnya nilai arus pada medan *shunt*. Pada motor *shunt*, arus medan relatif kecil sehingga rugi tembaga pada medan relative kecil pula dan umumnya disebut dengan rugi konstan jika pada motor *shunt*, maka metode ini efisien jika digunakan pada motor *shunt*.

(Theraja, 1994)

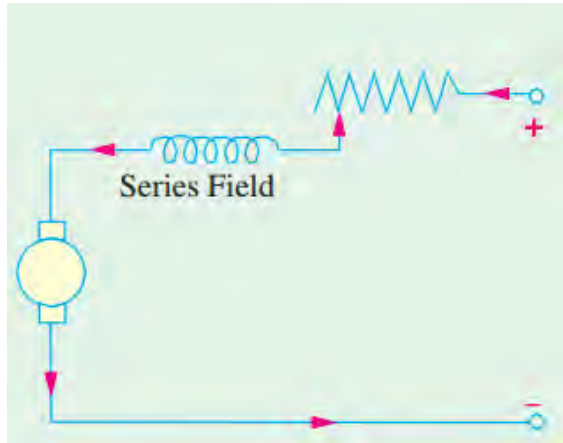
Pada metode pengaturan kecepatan motor dengan menggunakan rheostat ini terdapat beberapa kekurangan yaitu: kecepatan maksimum hanya dapat dicapai dengan tereduksinya nilai torsi, kecepatan maksimum didapat pada saat nilai fluks yang dihasilkan minimum yang diatur oleh efek demagnetisasi dari reaksi jangkar pada medan.

2.6.2 Metode kontrol jangkar atau *rheostatic*

Kecepatan motor DC proporsional dengan nilai *back emf* (E_b)nya yaitu $E_b = V - I_a R_a$. Berarti, ketika nilai dari tegangan sumber dan tahanan jangkar motor adalah tetap maka yang dapat mempengaruhi kecepatan motor adalah nilai dari arus jangkarnya. Ketika kita meletakkan tahanan secara seri pada dengan agkaiian jangkar, maka nilai dari arus jangkar akan berkurang, dan kemudian kecepatan motor akan berkurang pula. Maka dapat dikatakan juga kontrol jangkar adalah kontrol kecepatan yang menggunakan variable tahanan untuk mengatur jumlah tahanan yang diberikan ke rangkaian dan kemudian akan mempengaruhi nilai dari arus jangkar dari motor. Metode kontrol jangkar untuk motor DC seri dan DC *shunt* adalah sebagai berikut:

a. Motor DC seri

1. Metode kontrol tahanan jangkar: ini adalah metode yang paling umum untuk digunakan. Pada metode ini kontroling tahanan di koneksikan langsung dengan cara dirangkai seri dengan sumber tegangan dari motor.
2. Daya yang hilang pada saat pengaturan tahanan pada motor DC seri dapat diabaikan karena kontrol ini digunakan untuk jangka waktu yang lama, untuk mengurangi kecepatan pada saat berbeban berat. Metode kontrol kecepatan ini adalah metode paling ekonomis untuk untuk torsi yang konstan. Metode kontrol kecepatan ini digunakan untuk motor DC seri sebagai penggerak crane, kerekan, kereta dll.



Gambar 2.21 Rangkaian rheostat pada motor DC seri

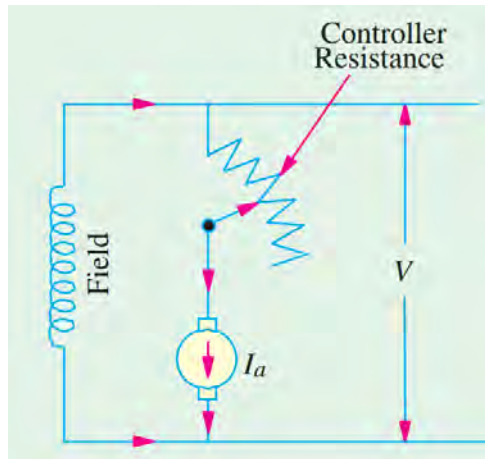
(Sumber : Theraja, 1994)

3. Kontrol jangkar *shunt*: kombinasi antara yang diaralelkan dengan jangkar dan rheostat yang diserikan dengan jangkar. Tegangan yangdigunakan oleh jangkar divariasikan dengan memvariasikan rheostat R1. Arus eksitasi pada medan shunt dapat divariasikan dengan memvariasikan rheostat yang dirangkai secara paralel dengan medan *shunt*. Metode kontrol kecepatan ini tdak ekonomis karena terdapat daya yang terbuang selama proses pengontrolan tahananannya. Kontrol kecepatan yangdidapatkan berada pada jarak yang besar namun dibawah dari kecepatan nominalnya.

(Theraja, 1994)

b. Motor DC *shunt*

Metode ini digunakan jika diperlukan kecepatan dibawah kecepatan nominal pada saat motor tidak berbeban. Ketika tegangan yang disuplai konstan, maka tegangan yangakan melewati terminal jangkar divariasikan dengan memasang variabel tahanan ataupun rheostat yang dihubungkan secara seri dengan terminal jangkar. Dengan menaikkan nilai tahanan maka arus jangkarnya akan menurun dengan tegangan yang tetap, hal ini akan menurunkan kecepatan motor. Metode ini digunakan untuk mesin tekan, crane, mesin kerek dimana kecepatan lebih rendah daripada nominalnya dan digunakan untuk periode waktu yang singkat. Pada gambar 2.22 dapat dilihat gambar rangkaian variabvariablean pada terminal jangkar untuk motor DC *shunt*.



Gambar 2.22 Rangkaian tahanan pada terminal jangkar

(Sumber : Theraja, 1994)

2.6.3 Metode kontrol tegangan

Nilai dari tegangan dapat berpengaruh terhadap nilai dari putaran motor hal ini disebabkan karena nilai tegangan suplai dapat mempengaruhi nilai *back emf* dari motor dimana ketika nilai dari tegangan suplai berkurang maka nilai dari putaran motor akan berkurang pula dan sebaliknya.

Pada metode ini tegangan yang diberikan kepada medan dan jangkar motor berbeda, metode ini menghasilkan pengaturan kecepatan motor yang jelek seperti pada metode pengaturan armatur. Namun, metode ini terbilang cukup mahal dibandingkan dengan metode lainnya. Oleh karena itu, metode ini digunakan pada ukuran motor yang besar dimana efisiensi tidak terlalu diperhatikan. Untuk motor DC *shunt* pengaturan kecepatan motor dengan metode kontrol tegangan

dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *multiple voltage control* dan *ward-leonard system*.

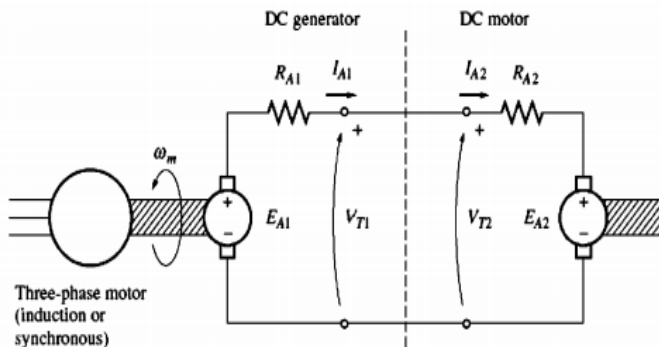
(Theraja, 1994)

a. *Multiple voltage control*

Pada sistem pengaturan kecepatan ini medan *shunt* tersambung dengan tungan penguat yang tetap dan rangkaian jangkarnya di supai oleh sumber tegangan yang berbeda dengan rangkaian *shunt*. Jangkar dapat dikoneksikan dengan beberapa tegangan yang berbeda melalui perpindahan kecepatan yang halus. Dalam cara ini, tegangan yang digunakan untuk jangkar dapat diubah. Kecepatan motor akan proporsional engan nilai tegangan yang disuplai ke jangkar.

(Theraja, 1994)

b. *Ward-leonard system*



Gambar 2.23 Rangkaian ward-leonard

(Sumber : Fitzgerald, 2004)

Kecepatan motor DC dari jenis penguatan terpisah, *shunt*, atau kompon dapat divariasikan dengan salah satu dari ketiga metode yaitu: dengan mengubah tahanan medan, mengubah tegangan jangkar ataupun dengan mengubah tahanan jangkar. Dari ketiga metode itu yang paling sering digunakan adalah pengaturan tegangan jangkar dikarenakan metode itu dapat memberikan variasi kecepatan yang lebih beragam dengan tidak mempengaruhi maksimum torsi dari motor.

Dalam beberapa tahun belakangan ini telah dikembangkan beberapa jenis kontrol motor yang memberikan keuntungan berupa torsi yang besar dan variasi kecepatan yang didapatkan dari kontrol tegangan jangkar pada motor DC. Sebelum ditemukannya kontrol elektronik untuk mengatur tegangan jangkar motor DC, sangat sulit untuk memvariasikan tegangan jangkar motor DC. Pada dasarnya, cara yang paling untuk memberikan tegangan jangkar yang bervariasi adalah digunakannya generator DC yang terpisah dari motor, metode ini dinamakan dengan metode ward-leonard.

(Theraja, 1994)

Pada gambar 2.23 diatas ditunjukan bahwa motor AC digunakan sebagai pemutar generator DC, yang putarannya memproduksi tegangan DC yang digunakan untuk mensuplai tegangan DC ke motor. Sistem diatas ini dinamakan dengan sistem ward-leonard. Tegangan jangkar motor dapat dikontrol dengan cara memvariasikan arus medan dari generator DC. Tegangan jangkar ini memungkinkan kecepatan motor divariasikan dengan halus antara lambat sampai dengan kecepatan nominalnya.

Kecepatan motor dapat diatur dibawah kecepatan nominalnya dengan mereduksi arus medan dari motor.

(Fritzgerald, 2004)

Dengan rancangan yang fleksibel, dimungkinkan pengaturan kecepatan total dari motor. Selain itu, jika arus medan dari generator dibalik, maka polaritas dari generator juga akan terbalik juga. Hal ini akan membalik arah putaran dari motor. Oleh karena itu, dimungkinkan untuk mendapatkan jarak variasi kecepatan yang lebar dalam dua arah putaran yang berlawanan dengan menggunakan sistem ward-leonard ini.

Keuntungan lainnya dari sistem ward-leonard ini adalah dapat mengembalikan energi ke dalam jalur suplainya. . Jika pertama mengangkat beban berat dan kemudian diturunkan dengan menggunakan motor DC dari sistem ward-leonard, ketika beban diturunkan, motor DC bertindak sebagai generator DC, dan banyaknya energy yang digunakan untuk mengangkat beban tadi dapat dikembalikan, dan hal ini dapat mereduksi biaya operasi secara keseluruhan. Kerugian dari sistem ward-leonard ini adalah membutuhkan sepasang motor-generator pada tiap motor DC dan sistem ini memiliki rugi yang besar jika dioperasikan pada beban yang ringan.

Metode ini digunakan pada sistem yang membutuhkan kviasi kecepatan yang sensitif seperti eskavator, elevator dll.

(Fritzgerald, 2004)

2.7 Pengereman motor DC

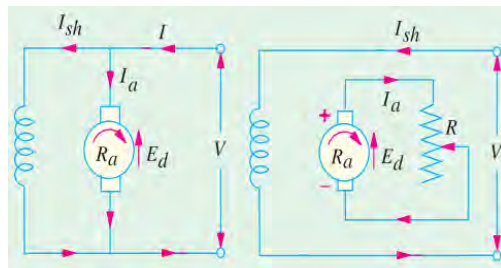
Sebuah motor dan bebannya dapat diberhentikan dengan menggunakan pengereman gesek dan pengereman elektris. Pengerema secara mekanis yang paling sering digunakan memiliki sebuah kekurangan yaitu sangat sulit untuk mendapatkan pengereman secara halus karena pengereman ini berdasarkan pada permukaan pengereman dan kemampuan dari operator.

Pengereman elektrik yang sangat baik tersedia untuk mengeliminasi lapisan pengereman dan peralatan mekanis lainnya. Pengereman elektrik, baik untuk motor seri dan motor *shunt*, terdapat tiga metode yaitu pengereman secara dinamis, plugging dan secara regenerative.

a. Pengereman secara dinamis

Pada metode ini, kumparan jangkar dari motor *shunt* diputus dari sumber tegangannya dan dikoneksikan dengan variable resistor seperti digambarkan pada gambar 2.24 dibawah ini. Efek pengereman yang terjadi dapat dikontrol dengan memvariasikan tahanan seri R .

(Theraja, 1994)



Gambar 2.24 Rangkaian pengereman regeneratif

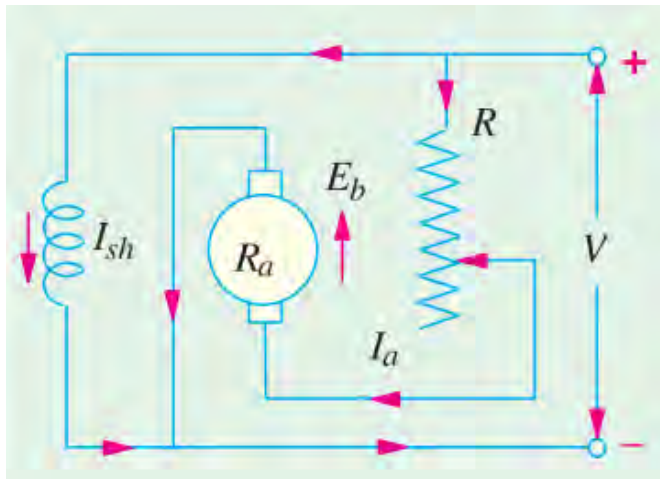
(Sumber : Theraja, 1994)

b. Plugging

Metode ini adalah metode yang paling umum digunakan untuk mengontrol elevator, penggiling, dan mesin perkakas.

Pada metode ini, koneksi ke terminal jangkar dibalik jadi motor akan berputar kearah sebaliknya. Dikarenakan dibaliknya koneksi jangkar, tegangan dan ggl bekerja pada arah yang sama pada sirkuit. Untuk membatasi arus jangkar pada nominal yang rasional, penting untuk menambahkan resistor pada rangkaian selama membalik arah koneksi jangkar. Pengereman secara plugging memberikan torsi yang lebih besar dari pada pengereman dengan metode rheostat.

(Theraja, 1994)



Gambar 2.25 Rangkaian pengereman plugging

(Sumber : Theraja, 1994)

c. Regenerative

Metode ini digunakan ketika beban dari motor memiliki karakteristik berubah seperti dalam menurunkan kerekan ataupun dalam gerakan melambatkan kereta listrik. Regenerative terjadi ketika nilai E_b lebih dari tegangan V . ini terjadi ketika beban bertindak menjadi penggerak dan menggerakkan mesin sebagai generator. Konsekuensinya, arah dari arus jangkar dan oleh karena itu torsi jangkar terbalik dan kecepatan berkurang sampai E_b menjadi lebih kecil dari tegangan V . pada kondisi ini dimungkinkan pada saat mengurangi kecepatan motor, motor malah menghasilkan daya yang disalurkan ke sumber dan memungkinkan untuk memutar motor yang lainnya.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metodelogi dalam pengerjaan tugas akhir adalah kerangka berfikir yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir mulai sejak tugas ahir pertama kali dikerjakan hingga tugas akhir dinyatakan selesai. Metodelogi penelitian diperlukan agar proses penelitian dapat berjalan sesuai denganyang diinginkan, sehingga memperoleh hasil yang maksimal. Lebih tepatnya metodelogi penelitian ini digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya dengan sistematis dan diharapkan mendapatkan hasil sebaik mungkin.

3.2 Urutan pengerjaan tugas akhir

Dalam sebuah pengerjaan tugas akhir diperlukan urutan – urutan pengerjaan yang sesuai dengan metodelogi penelitian yang digunakan, hal ini dimaksudkan agar penelitian yang dikerjakan ini mendapatkan hasil sebagaimana yang diharapkan sebelumnya. Metodelogi yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian ini secara umum dimulai dengan indentifikasi masalah, studi literatur, pengambilan data (praktikum), analisa & pembahasan dan yang terakhir adalah kesimpulan.

3.2.1 Identifikasi masalah

Tahapan awal yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah melakukan identifikasi masalah sehingga dapat diketahui masalah apa yang akan dibahas dalam pengerjaan tugas akhir kali ini. Pada Laboratorium Listrik dan Otomasi Kapal terdapat motor DC *shunt* merk *feedback* dengan tipe no. 63 – 110 yang jarang digunakan untuk

praktikum. Karena praktikum menggunakan motor DC *shunt* yang lain. Motor DC *shunt* tersebut tidak memiliki spesifikasi, sehingga performa motor tersebut masih belum diketahui. Oleh karena itu, perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah mengetahui performa motor DC *shunt feedback* tersebut., sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai pedoman praktikum mata kuliah Listrik Perkapalan kedepannya.

3.2.2 Studi literatur

Pada tahapan selanjutnya dilakukan studi literatur dengan tujuan untuk merangkain dasaran teori serta informasi pendukung lainnya yang digunakan selama pengerjaan tugas akhir kali ini. Dalam penentuan literatur yang digunakan berasal dari sumber berupa jurnal ilmiah, buku penunjang, paper dan bertanya berkonsultasi dengan dosen pembimbing.

3.2.3 Pengambilan data

Pengambilan data bertujuan untuk mendapatkan data penunjang yang digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap parameter – parameter yang telah ditentukan. Metode yang dilakukan dalam pengambilan data adalah dengan cara praktikum di laboratorium listrik kapal dan otomasi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS. Sebelum dilakukannya pengambilan data, sebelumnya dilakukan terlebih dahulu pembuatan langkah – langkah praktikum yang sesuai dengan buku panduan yang telah dibuat oleh pabrikan. Pengambilan data dilakukan dengan percobaan motor berbeban dan tanpa beban. Pada percobaan berbeban digunakan generator sebagai bebannya. Sedangkan data yang diambil pada saat praktikum adalah sebagai berikut:

- a. Putaran.

- b. Arus jangkar (I_a)
- c. Arus medan (I_f)
- d. Tegangan

3.2.4 Analisa data dan pembahasan

Tahapan yang dilakukan selanjutnya adalah analisa data dan pembahasan, yaitu melakukan perhitungan atas data praktikum yang telah didapatkan sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara beberapa parameter yang telah ditentukan sebelumnya guna menjawab rumusan masalah dari pengerjaan tugas akhir kali ini.

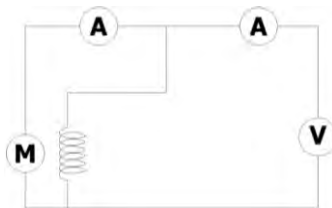
3.2.5 Kesimpulan dan saran

Setelah dilakukannya proses analisa data, tahapan selanjutnya adalah menarik kesimpulan atas hasil penelitian yang telah di dapatkan. Kesimpulan berdasarkan atas analisa data dan dasaran teori. Kemudian dilakukan pemberian saran kepada pihak – pihak yang berkaitan untuk melakukan analisa lebih lanjut terhadap tugas akhir yang dikerjakan.

3.3 Tahapan praktikum

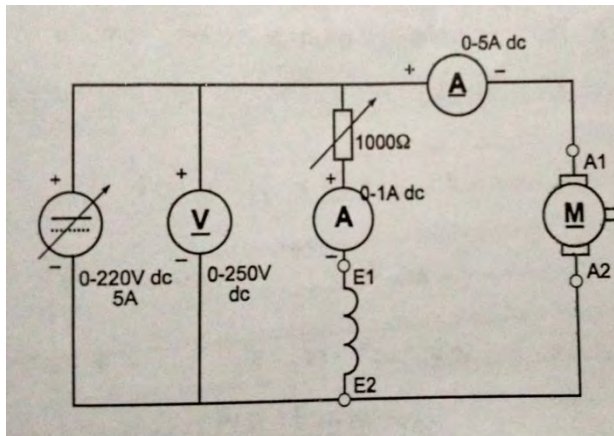
Tahapan praktikum digunakan untuk pengambilan data agar mempermudah dalam pelaksanaannya. Adapun tahapan praktikum yang dibuat adalah sebagai berikut:

- Percobaan motor beban nol
 - a. Mengukur tahanan jangkar dan tahanan medan motor
 - b. Merangkai motor sesuai dengan gambar 3.1



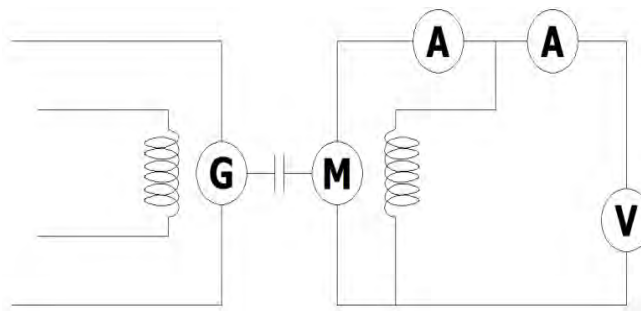
Gambar 3.1 Percobaan motor beban nol

- c. Motor DC disuplai tegangan oleh variabel suplai DC *feedback* tipe no. 60 – 125
- d. Variasikan tegangan masukan motor mulai 100 V sampai 220 V dengan perbedaan jarak tiap variabel 10 V
- e. Amati putaran, arus jangkar dan arus medan.
- f. Tambahkan variabel resistor pada terminal medan untuk mengatur kecepatan motor. Sesuai gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian variabel resistor

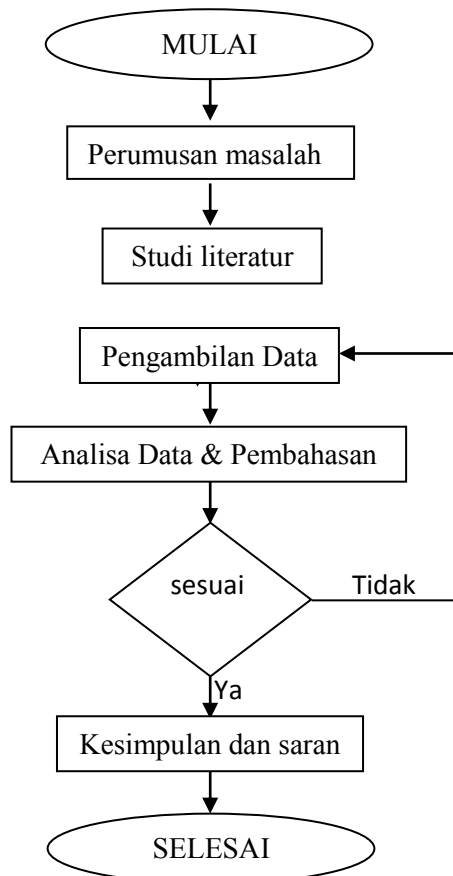
- Praktikum motor berbeban
- a. Merangkai motor sesuai dengan gambar 3.2 berikut



Gambar 3.3 Percobaan motor berbeban

- b. Motor DC disuplai tegangan oleh variabel suplai DC *feedback* tipe no. 60 – 125.
- c. Tegangan terminal diatur sebesar 220 V.
- d. Pembebanan dilakukan dengan memberikan arus magnetisasi pada generator. Arus magnetisasi diberikan dengan nominal 0.05 A, 0.1 A, 0.15 A, 0.2 A, 0.25 A, 0.3 A, dan 0.35 A
- e. Amati putaran, arus jangkar dan arus medan.

3.4 Diagram alir (flow chart)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA

Pada tahapan analisa dan pembahasan mengenai analisa performa motor DC *shunt* feedback No.63-110, penulis pertama kali melakukan pembelajaran terhadap modul yang dikeluarkan pabrikan disana terdapat penjelasan mengenai komponen yang digunakan untuk praktikum motor DC dan juga tata cara dalam melakukan praktikum guna pengambilan data yang digunakan untuk analisa pada pembahasan kali ini. Data yang diambil pada saat praktikum adalah arus medan, arus jangkar, tegangan sumber, tahanan medan, tahanan jangkar dan putaran motor. Selain itu pada praktikum digunakan dua metode yaitu dengan kondisi motor berbeban dan tanpa beban, untuk motor berbeban digunakan generator sebagai bebannya.

Setelah mendapat data yang diperlukan sela praktikum maka selanjutnya akan dilaksanakan perhitungan untuk perngetahui performa dari motor DC yaitu mulai dari perhitungan rugi – rugi yang terdapat pada motor kemudian perhitungan daya masukan dan daya keluaran motor dan juga dilakukan perhitungan torsi yang dihasilkan motor, selain itu juga dilakukan perhitungan efisiensi motor untuk mengetahui bagaimana kondisi motor saat ini setelah lama tidak dipergunakan dan apakah berdampak pada performanya. Pada BAB ini juga dilakukan analisa grafik guna mengetahui hubungan dari parameter – parameter yang telah dihitung guna menarik kesimpulan pada akhir pengerjaan tugas akhir ini.

4.1 Hasil praktikum

Berikut ini adalah data yang didapatkan dari hasil percobaan, pada percobaan ini selain juga dilakukan percobaan berbeban dan

tanpa beban juga dilakukan kontrol kecepatan dengan menambahkan variabel tahanan (R_{adj}) yang bernilai 200 Ω , 400 Ω dan 600 Ω .

a. Motor dengan resistor 0 Ω

➤ **Percobaan tanpa beban**

Tabel 4. 1 Data hasil percobaan motor Variabel resistor = 0 Ω

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
100	0.29	0.16	0.13	1511
110	0.3	0.16	0.14	1645
120	0.31	0.16	0.15	1752
130	0.32	0.16	0.16	1852
140	0.34	0.16	0.18	1982
150	0.35	0.16	0.19	2096
160	0.36	0.16	0.2	2200
170	0.37	0.16	0.21	2318
180	0.38	0.16	0.22	2419
190	0.4	0.16	0.24	2528
200	0.41	0.16	0.25	2621
210	0.42	0.16	0.26	2720
220	0.44	0.16	0.28	2835

➤ Percobaan motor berbeban

Tabel 4. 2 Data hasil percobaan motor variabel tahanan = 0Ω

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
220	0.05	0.68	0.4	0.28	2829
220	0.1	0.71	0.43	0.28	2825
220	0.15	0.74	0.46	0.28	2816
220	0.2	0.79	0.51	0.28	2805
220	0.25	0.82	0.54	0.28	2795
220	0.3	0.85	0.57	0.28	2792
220	0.35	0.86	0.58	0.28	2788

b. Motor dengan $R_{adj} 200 \Omega$

➤ Percobaan tanpa beban

Tabel 4. 3 Data hasil percobaan motor variabel tahanan = 200Ω

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
100	0.28	0.17	0.11	1601
110	0.29	0.17	0.12	1728
120	0.3	0.17	0.13	1852
130	0.31	0.17	0.14	1954
140	0.33	0.17	0.16	2072
150	0.34	0.17	0.17	2168
160	0.35	0.17	0.18	2284
170	0.36	0.17	0.19	2396
180	0.37	0.17	0.2	2505
190	0.38	0.17	0.21	2611
200	0.39	0.17	0.22	2720

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If(A)	n (RPM)
210	0.4	0.17	0.23	2825
220	0.41	0.17	0.24	2936

➤ **Percobaan motor berbeban**

Tabel 4. 4 Data hasil percobaan motor variabel tahanan =200 Ω

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If(A)	n (RPM)
220	0.05	0.66	0.42	0.24	2903
220	0.1	0.69	0.45	0.24	2896
220	0.15	0.73	0.49	0.24	2892
220	0.2	0.77	0.53	0.24	2889
220	0.25	0.8	0.56	0.24	2885
220	0.3	0.83	0.59	0.24	2880
220	0.35	0.85	0.61	0.24	2879

c. Motor dengan R_{adj} 400 Ω

➤ **Percobaan tanpa beban**

Tabel 4. 5 Data percobaan motor variabel tahanan = 400 Ω

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If(A)	n (RPM)
100	0.27	0.18	0.09	1698
110	0.28	0.18	0.1	1827
120	0.29	0.18	0.11	1953
130	0.3	0.18	0.12	2069
140	0.31	0.18	0.13	2185
150	0.32	0.18	0.14	2307
160	0.33	0.18	0.15	2419

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
170	0.34	0.18	0.16	2529
180	0.35	0.18	0.17	2647
190	0.36	0.18	0.18	2758
200	0.37	0.18	0.19	2844
210	0.38	0.18	0.2	2967
220	0.39	0.18	0.21	3074

➤ **Percobaan motor berbeban**

Tabel 4. 6 Data percobaan motor variabel tahanan =400 Ω

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
220	0.05	0.67	0.46	0.21	3049
220	0.1	0.7	0.49	0.21	3041
220	0.15	0.74	0.53	0.21	3033
220	0.2	0.77	0.56	0.21	3026
220	0.25	0.8	0.59	0.21	3020
220	0.3	0.83	0.62	0.21	3014
220	0.35	0.85	0.64	0.21	3005

d. Motor dengan R_{adj} 600 Ω

➤ **Percobaan tanpa beban**

Tabel 4. 7 Data percobaan motor variabel tahanan = 600 Ω

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
100	0.27	0.19	0.08	1832
110	0.27	0.19	0.08	1915
120	0.28	0.19	0.09	2043

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
130	0.29	0.19	0.1	2148
140	0.29	0.19	0.1	2264
150	0.3	0.19	0.11	2370
160	0.31	0.19	0.12	2498
170	0.32	0.19	0.13	2616
180	0.33	0.19	0.14	2729
190	0.33	0.19	0.14	2851
200	0.34	0.19	0.15	2956
210	0.35	0.19	0.16	3086
220	0.36	0.19	0.17	3203

➤ **Percobaan motor berbeban**

Tabel 4. 8 Data percobaan motor variabel tahanan = 600 Ω

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)
220	0.05	0.66	0.49	0.17	3158
220	0.1	0.69	0.52	0.17	3155
220	0.15	0.73	0.56	0.17	3148
220	0.2	0.76	0.59	0.17	3143
220	0.25	0.79	0.62	0.17	3139
220	0.3	0.82	0.65	0.17	3132
220	0.35	0.84	0.67	0.17	3126

4.2 Perhitungan rugi

Untuk mengetahui nilai daya dan torsi yang dihasilkan oleh motor, sebelumnya harus dilakukan perhitungan rugi – rugi yang terjadi pada motor dikarenakan nilai rugi yang terjadi digunakan

untuk menghitung daya keluaran dan perhitungan daya keluaran digunakan untuk menghitung nilai torsi poros. Sedangkan pada motor DC terdapat tiga jenis rugi yaitu rugi tembaga, rugi besi dan rugi mekanis.

Pada motor DC *shunt* terdapat rugi konstan yaitu nilai rugi tembaga pada medan dan rugi bes mekanis, hal ini dikarenakan nilai arus medan pada motor DC *shunt* tetap pada tiap tegangan dan pembebanan yang dilakukan.

Sebelum dilakukan perhitungan rugi – rugi terlebih dahulu dilakukan pengukuran nilai tahanan jangkar dan tahanan medannya. Seperti yang telah dijelaskan pada dasaran teori nilai tahanan ini berguna untuk menghitung besaran dari nilai rugi tembaga yang terdapat pada motor. Untuk mengukur besaran dari nilai tahanan ini digunakan multimeter. Selanjutnya juga dilakukan pengukuran nilai arus yang masuk ke motor pada tiap kondisi yaitu berbeban dan tanpa beban dengan menggunakan *clamp meter*. Pada motor DC *shunt* ini juga dilakukan pengaturan kecepatan motor guna mengetahui perbedaan antara, oleh karena itu perlu diketahui juga nilai rugi pada tiap nilai tahanan yang digunakan baik itu pada kondisi berbeban dan tanpa beban.

4.2.1. Rugi tembaga jangkar (W_a)

Seperti yang telah dijelaskan pada dasaran teori rugi pada motor DC terdapat tiga jenis yaitu rugi tembaga, rugi besi dan rugi mekanis. Namun, pada pembahasan kali ini hanya dilakukan perhitungan rugi tembaga dan rugi konstan motor yang berguna untuk perhitungan pada tahap selanjutnya. Sebelum melakukan perhitungan rugi terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap nilai tahanan medan dan tahanan jangkar motor, adapun nilai tahanan medan dan tahanan jangkar motor adalah sebagai berikut:

- Tahanan medan = 770Ω
- Tahanan jangkar = 8Ω

a. Motor tanpa beban

Pada tabel percobaan didapatkan untuk nilai tegangan 100 V didapatkan nilai $I_a = 0.17$, $I_f = 0.11$ dan nilai putarannya adalah 1601. Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumusan 2.8 sebagai berikut

$$P_a = I_a^2 R_a$$

Dimana;

I_a : Arus jangkar

R_a : Tahanan jangkar

Sehingga didapatkan

$$P_a = I_a^2 R_a$$

$$P_a = 0.17^2 \times 8$$

$$P_a = 0.0625 \times 8$$

$$P_a = 0.2312 \text{ W}$$

Nilai dari $I_a^2 R_a$ pada motor tanpa beban juga digunakan untuk menghitung rugi konstan pad motor DC *shunt* yaitu dengan cara menggunakan rumusan $W_c = P_{In} - I_a^2 R_a$ pada saat motor tanpa beban.

b. Motor berbeban

Dengan rumusan yang digunakan pula untuk menghitung rugi tembaga pada terminal jangkar untuk kondisi motor yang dibebani generator, berdasarkan hasil dari pengambilan data didapatkan untuk motor yang disupali tegangan 220 V dibebani generator

dengan eksitasi 0.1 A nilai $I_a = 0.45 \text{ A}$, $I_f = 0.24 \text{ A}$ dan putaran motor 2896 RPM. Berikut ini adalah contoh perhitungan rugi temabaga pada terminal jangkar untuk kondisi motor berbeban:

$$P_a = I_a^2 R_a$$

Dimana;

I_a : Arus jangkar

R_a : Tahanan jangkar

Sehingga didapatkan

$$P_a = I_a^2 R_a$$

$$P_a = 0.45^2 \times 8$$

$$P_a = 0.2025 \times 8$$

$$P_a = 1.62 \text{ W}$$

Tahapan perhitungan yang sama juga dilakukan untuk motor dengan motor tanpa menggunakan variabel tahanan dan menggunakan variabel tahanan 200 Ω , 400 Ω dan 600 Ω baik dalam kondisi berbeban dan tanpa beban. Sedangkan untuk nilai arus eksitasi yang digunakan adalah 0.05 A sampai dengan 0.35 A. nilai $I_a^2 R_a$ pada motor berbeban digunakan untuk menghitung nilai total rugi yang terjadi pada motor yaitu dengan menambahkannya dengan nilai rugi konstan motor pada tegangan yang sama dengan yang digunakan pada saat motor dibebani.

4.2.2. Rugi temabaga medan (W_f)

Sedangkan untuk menghitung besaran rugi tembaga pada medan atau pada motor DC *shunt* dinamakan dengan

rugi konstan karena nilainya konstan pada tiap nilai tegangan yang diberikan. Perhitungan nilai rugi konstan ini dilakukan untuk motor berbeban dan tanpa beban. Diketahui nilai dari tahanan jangkar pada motor DC *shunt* ini adalah sebagai berikut:

- Tahanan medan = $770 \, \Omega$
- Tahanan jangkar = $8 \, \Omega$

a. Motor tanpa beban ($R_{adj} = 200 \, \Omega$)

Pada tabel percobaan didapatkan untuk nilai tegangan 100 V didapatkan nilai $I_a = 0.17 \, A$, $I_f = 0.11 \, A$ dan nilai putarannya adalah 1601 RPM. Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan rumusan 2.9 sebagai berikut:

$$W_f = I_f^2 R_f$$

Dimana;

I_f : Arus medan

R_f : Tahanan medan

Sehingga didapatkan

$$P_f = 0.11^2 \times 770$$

$$P_f = 0.0121 \times 770$$

$$P_f = 9.317 \, W$$

Maka didapatkan nilai dari rugi tembaga medan (P_f) adalah 9.317 W dan nilai rugi ini digunakan untuk mengetahui total nilai rugi tembaga yang terjadi pada motor dengan menambahkan nilai dari rugi $I_a^2 R_a$. Perhitungan dengan cara yang sama juga dilakukan

untuk mendapatkan nilai W_f pada motor DC tanpa menggunakan variabel tahanan dan motor DC dengan menggunakan variabel tahanan. Dengan menggunakan data perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya yaitu nilai $I_a^2 R_a = 0.2312$ W dan $I_f^2 R_f = 9.317$ W, contoh perhitungan total rugi tembaga pada motor DC *shunt* adalah sebagai berikut:

$$W_{CU} = I_a^2 R_a + I_f^2 R_f$$

$$W_{CU} = 0.2312 + 9.317$$

$$W_{CU} = 9.5482 \text{ W}$$

Dikarenakan nilai rugi $I_f^2 R_f$ adalah konstan maka pada kondisi motor berbeban tidak perlu lagi menghitung nilai $I_f^2 R_f$ dan dapat menggunakan nilai $I_f^2 R_f$ pada saat motor tak berbeban. Selain perhitungan total rugi tembaga diperlukan juga perhitungan rugi besi dan mekanis yang terjadi pada motor guna menghitung nilai dari daya keluaran motor, namun nilai rugi besi mekanis didapatkan dari pengurangan daya input motor dengan nilai $I_a^2 R_a$ pada saat motor tak berbeban oleh sebab itu perhitungan ini akan dilakukan setelah melakukan perhitungan daya masukan motor. Setelah melakukan perhitungan rugi tembaga pada beberapa variabel yang ditentukan pada pengerjaan tugas akhir ini, tabel hasil dari perhitungan adalah sebagai berikut ini:

a. Motor tanpa beban

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan W_{cu} motor beban nol

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia ² Ra (W)	Ish ² Rsh (W)	Σ Wcu
100	0.17	0.11	0.23	9.32	9.55
110	0.17	0.12	0.23	11.09	11.32
120	0.17	0.13	0.23	13.01	13.24
130	0.17	0.14	0.23	15.09	15.32
140	0.17	0.16	0.23	19.71	19.94
150	0.17	0.17	0.23	22.25	22.48
160	0.17	0.18	0.23	24.95	25.18
170	0.17	0.19	0.23	27.80	28.03
180	0.17	0.2	0.23	30.80	31.03
190	0.17	0.21	0.23	33.96	34.19
200	0.17	0.22	0.23	37.27	37.50
210	0.17	0.23	0.23	40.73	40.96
220	0.17	0.24	0.23	44.35	44.58

pada tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai rugi tembaga akan sebanding dengan nilai tagangan terminal. Dan pada beban nol nilai rugi medan lebih besar dari pada nilai rugi jangkar.

b. Motor berbeban

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan W_{cu} motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Ia ² Ra (W)
220	0.05	0.66	0.42	0.24	2903	1.41
220	0.1	0.69	0.45	0.24	2896	1.62

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Ia ² Ra (W)
220	0.15	0.73	0.49	0.24	2892	1.92
220	0.2	0.77	0.53	0.24	2889	2.25
220	0.25	0.8	0.56	0.24	2885	2.51
220	0.3	0.83	0.59	0.24	2880	2.78
220	0.35	0.85	0.61	0.24	2879	2.98

Pada tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai rugi tembaga jangkar akan naik seiring dengan naiknya nilai arus jangkar motor. Arus jangkar naik disebabkan oleh naiknya beban yang diberikan motor pada motor.

4.3 Perhitungan Daya

Daya adalah gaya yang dihasilkan oleh motor untuk memutar motor pada kecepatan nominal. Sedangkan daya yang dihasilkan oleh motor tidak semuanya dapat digunakan, hal ini dikarenakan terdapat beberapa rugi yang mereduksi nilai daya yang dihasilkan. Daya setelah dikurangi dengan nilai rugi yang terjadi dinamakan dengan daya keluaran.

4.3.1. Daya masukan (P_{In})

Dalam menghitung daya masukan motor diperlukan beberapa data yaitu data tegangan terminal, arus medan dan arus jangkar motor. Sedangkan untuk contoh perhitungan ini digunakan data dari percobaan pada motor dengan nilai variabel tahanan 200Ω dengan tanpa menggunakan beban, adapun hasil dari percobaan yang telah dilakukan adalah nilai $V_t = 220 \text{ V}$, $I_a = 0.17 \text{ A}$ dan $I_f = 0.24 \text{ A}$. untuk menghitung nilai daya masukan motor dapat digunakan persamaan 2.21 berikut ini:

$$P_{in} = (V \times I_a) + (V \times I_f)$$

Dimana,

V : Tegangan masukan

I_a : Arus jangkar

I_f : Arus medan

Maka didapatkan nilai daya masukan sebagai berikut ini:

$$P_{in} = (V \times I_a) + (V \times I_f)$$

$$P_{in} = (220 \times 0.17) + (220 \times 0.24)$$

$$P_{in} = (37.4) + (52.8)$$

$$P_{in} = 90.2 \text{ W}$$

Seperti perhitungan diatas didapatkan nilai daya masukan motor sebesar 90.2 W. Perhitungan yang sama juga dilakukan pada data percobaan yang telah dilakukan untuk mendapatkan nilai daya masukan motor pada tiap variasi nilai tahanan yang dirangkai seri dengan terminal medan untuk mengatur kecepatan motor yaitu 200 Ω , 400 Ω , dan 600 Ω baik itu pada kondisi motor berbeban dan tanpa beban.

4.3.2. Daya keluaran (P_{out})

Daya keluaran motor adalah daya motor yang benar – benar digunakan untuk memutar beban yang dikopel oleh motor pada kecepatan nominalnya. Pada percobaan yang dilakukan pada tugas akhir ini beban diberikan dengan mengkopel motor dengan generator. Daya keluaran hanya dihitung pada kondisi motor berbeban hal ini dikarenakan pada motor tak berbeban tidak terdapat daya keluaran. Pada contoh perhitungan ini dilakukan perhitungan nilai daya keluaran motor untuk motor 220 V yang dibebani dengan generator dengan arus eksitasi sebesar 0.35 A. Untuk menghitung nilai dari daya keluaran motor digunakan rumusan 2.22 yaitu daya

masukan motor dikurangi total rugi yang terjadi. Sebelumnya untuk menghitung total rugi yang terjadi terlebih dahulu dihitung W konstan dari motor dengan persamaan dibawah ini:

$$W_C = P_{in} - I_a^2 R_a$$

Nilai daya masukan dan $I_a^2 R_a$ yang digunakan adalah pada motor dengan menggunakan variabel tahanan 200Ω pada saat tanpa beban dan tegangan terminalnya adalah 220 V . pada perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya diketahui bahwa nilai dari daya masukan motor adalah 90.2 W dan nilai $I_a^2 R_a = 0.23 \text{ W}$ maka didapatkan

$$W_C = 90.2 - 0.23$$

$$W_C = 89.97 \text{ W}$$

Setelah mengetahui nilai dari rugi konstan yang terjadi, selanjutnya menghitung daya masukan motor pada saat dibebani dengan beban generator dengan eksitasi sebesar 0.35 A . Data hasil percobaan yaitu $I_a = 0.61 \text{ A}$, $I_f = 0.24 \text{ A}$, dan $I_f = 0.24 \text{ A}$, maka perhitungan daya masukannya dalah sebagai berikut:

$$P_{in} = (V \times I_a) + (V \times I_f)$$

$$P_{in} = (220 \times 0.61) + (220 \times 0.24)$$

$$P_{in} = (134.2) + (52.8)$$

$$P_{in} = 187 \text{ W}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan daya keluaran motor dengan menggunakan rumusan 2.22. dan untuk nilai dari $I_a^2 R_a$ diambil dari perhitungan yang sebelumnya telah dilakukan yaitu sebesar 2.98 W . perhitungan daya keluaran

motor dengan variabel tahanan sebesar 200 Ω pada saat dibebani generator dengan nilai arus eksitasi sebesar 0.35 A adalah sebagai berikut ini:

$$P_{out} = P_{in} - \text{Total losses}$$

$$P_{out} = P_{in} - W_C - I_a^2 R_a$$

$$P_{out} = 187 - 89.97 - 2.98$$

$$P_{out} = 94.1 \text{ W}$$

Didapatkan bahwa nilai dari perhitungan diatas bahwa nilai dari daya keluaran motor saat dibebani dengan generator adalah 94.1 W. kemudian tata cara yang sama digunakan untuk menghitung daya keluaran motor pada saat berbeban dengan eksitasi 0.05 A sampai dengan 0.35 A baik pada motor dengan variabel tahanan ataupun tidak.

4.3.3. Efisiensi Motor

Setelah mengetahui nilai daya masukan dan daya keluaran motor, kemudian dilakukan penghitungan nilai efisiensi motor dengan menggunakan nilai dari daya keluaran dan daya masukan yang telah dilakukan dengan perumusan 2.24 dibawah ini:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

$$\eta = \frac{94.1}{187} \times 100 \%$$

$$\eta = 50.3 \%$$

Pada perhitungan diatas didapatkan nilai efisiensi motor sebesar 50.3 %. Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk mendapatkan nilai efisiensi motor pada tiap variasi nilai tahanan yang dirangkai seri dengan terminal medan untuk mengatur kecepatan motor yaitu 200 Ω , 400 Ω , dan 600 Ω .

Adapun hasil perhitungan yang telah dilakukan untuk menghitung daya masukan, daya keluaran dan efisiensi dalam sebagai berikut adalah sebagai berikut ini:

a. Motor tanpa beban

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan daya motor

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia²Ra (W)	Daya Input (W)	W konstan
100	0.17	0.11	0.23	28.00	27.77
110	0.17	0.12	0.23	31.90	31.67
120	0.17	0.13	0.23	36.00	35.77
130	0.17	0.14	0.23	40.30	40.07
140	0.17	0.16	0.23	46.20	45.97
150	0.17	0.17	0.23	51.00	50.77
160	0.17	0.18	0.23	56.00	55.77
170	0.17	0.19	0.23	61.20	60.97
180	0.17	0.2	0.23	66.60	66.37
190	0.17	0.21	0.23	72.20	71.97
200	0.17	0.22	0.23	78.00	77.77
210	0.17	0.23	0.23	84.00	83.77
220	0.17	0.24	0.23	90.20	89.97

Pada tabel 4.11 dapat dilihat hasil dari perhitungan daya input dan rugi konstan motor sebanding dengan nilai tegangan dan daya input motor. Nilai arus medan akan naik seiring dengan naiknya tegangan terminal, oleh karena itu nilai rugi konstan akan naik seiring dengan naiknya nilai arus medan.

b. Motor berbeban

Tabel 4. 12 Hasil perhitungan daya dan efisiensi motor

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	efisiensi %
220	0.05	0.42	0.24	145.2	53.8	37.1
220	0.1	0.45	0.24	151.8	60.2	39.7
220	0.15	0.49	0.24	160.6	68.7	42.8
220	0.2	0.53	0.24	169.4	77.2	45.6
220	0.25	0.56	0.24	176.0	83.5	47.5
220	0.3	0.59	0.24	182.6	89.8	49.2
220	0.35	0.61	0.24	187.0	94.1	50.3

Pada tabel 4.12 dapat dilihat hasil perhitungan mengenai daya keluaran dan efisiensi motor. Efisiensi akan naik seiring dengan naiknya arus magnetisasi yang diberikan. Karena adanya nilai rugi konstan pada motor maka jika nilai daya input motor semakin besar maka akan semakin besar nilai efisiensi.

4.4 Perhitungan torsi motor

Dibutuhkan beberapa parameter dalam melakukan analisa terhadap kerja dari sebuah motor yaitu torsi dan daya baik itu daya keluaran ataupun daya masukan motor. Torsi adalah gaya yang bekerja kepada sumbu poros pada suatu benda yang berputar.

Torsi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu torsi jangkar dan torsi poros. Torsi jangkar adalah torsi yang dihasilkan oleh reaksi pada terminal jangkar sedangkan torsi poros adalah torsi yang benar – benar digunakan oleh motor untuk memutar beban.

4.4.1 Torsi jangkar (τ_a)

Untuk menghitung nilai dari torsi jangkar dibutuhkan nilai E_b , arus jangkar, tegangan terminal dan putaran motor. Nilai arus jangkar, tegangan terminal dan putaran motor didapatkan dari percobaan yang telah dilakukan, adapun nilai yang digunakan untuk contoh perhitungan pada motor dengan $R_{adj} = 200 \, \Omega$ pada saat dibebani dengan generator dengan nilai arus eksitasi sebesar 0.3 A adalah sebagai berikut:

- $V_T = 220 \, \text{V}$
- $I_a = 0.59 \, \text{A}$
- $R_a = 8 \, \Omega$
- $N = 2880 \, \text{RPM}$

Sedangkan untuk nilai E_b dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 dibawah ini:

$$V_T = E_b + I_a R_a$$

$$E_b = V_T - I_a R_a$$

$$E_b = 220 - 0.59 \times 8$$

$$E_b = 220 - 4.72$$

$$E_b = 215.28 \, \text{V}$$

Setelah mengetahui nilai dari E_b untuk menghitung torsi jangkar dapat digunakan rumusan 2.19 seperti dibawah ini:

$$T_a = \frac{E_b I_a}{2\pi N / 60}$$

Dimana;

E_b : Gaya gerak listrik

I_a : Arus jangkar
 N : Putaran dalam rpm

Sehingga didapatkan nilai torsi jangkar sebagai berikut:

$$T_a = \frac{E_b I_a}{2\pi N / 60}$$

$$T_a = \frac{215.28 \times 0.59}{2\pi \times 2880 / 60}$$

$$T_a = \frac{127.0152}{2\pi \times 2880 / 60}$$

$$T_a = \frac{127.0152 \times 60}{2\pi \times 2880}$$

$$T_a = \frac{7620.912}{18086.4}$$

$$T_a = 0.421 \text{ N.m}$$

Jadi nilai torsi pada terminal jangkar untuk motor dengan $R_{adj} = 200 \Omega$ yaang di rangkai seri dengan terminal medannya adalah 0.421 N.m. Cara yang sama juga digunakan untuk menghitung nilai torsi motor pada nilai variabel tahanan 200Ω , 400Ω dan 600Ω .

4.4.2 Torsi poros (τ_{Shaft})

Sama halnya dengan daya yang tidak semua daya yang digunakan motor menjadi daya keluarannya, pada torsi motor tidak semua torsi pada jangkar akan menjadi torsi yang digunakan motor untuk memutar bebannya hal ini disebabkan oleh adanya rugi – rugi pada motor yang meyebabkan berkurangnya nilai torsi. Untuk menghitung besaran dari torsi

poros dapat digunakan persamaan 2.20. adapun contoh untuk perhitungan torsi adalah sebagai berikut ini

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{2\pi N/60}$$

Dimana;

P_{out} : Daya keluaran motor

N : Putaran dalam rpm

Dengan menggunakan hasil perhitungan dari sub-bab sebelumnya nilai daya keluaran motor pada untuk motor dengan variabel tahanan 200 Ω yang dibebani generator dengan arus eksitasi sebesar 0.35 A adalah 94.1 W dan dengan putaran 2878 RPM. Maka dengan demikian perhitungan dari torsi poros adalah sebagai berikut:

$$T_{sh} = \frac{P_{out}}{2\pi N/60}$$

$$T_{sh} = \frac{94.1}{2\pi 2878/60}$$

$$T_{sh} = \frac{94.1 \times 60}{2\pi \times 2878}$$

$$T_{sh} = \frac{5646}{18073.84}$$

$$T_{sh} = 0.312 \text{ N.m}$$

Tahapan yang sama digunakan untuk menghitung torsi poros pada motor yang tidak menggunakan variabel tahanan dan motor yang menggunakan variabel tahanan 200 Ω , 400 Ω dan 600 Ω . Adapun setelah dilakukan perhitungan maka hasil dari perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

a. Motor tanpa beban

Tabel 4. 13 Hasil perhitungan torsi motor

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar
100	0.17	0.11	1601	98.64	0.100
110	0.17	0.12	1728	108.64	0.102
120	0.17	0.13	1852	118.64	0.104
130	0.17	0.14	1954	128.64	0.107
140	0.17	0.16	2072	138.64	0.109
150	0.17	0.17	2168	148.64	0.111
160	0.17	0.18	2284	158.64	0.113
170	0.17	0.19	2396	168.64	0.114
180	0.17	0.2	2505	178.64	0.116
190	0.17	0.21	2611	188.64	0.117
200	0.17	0.22	2720	198.64	0.119
210	0.17	0.23	2825	208.64	0.120
220	0.17	0.24	2936	218.64	0.121

b. Motor berbeban

Tabel 4. 14 Hasil perhitungan torsi motor

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar	Torsi poros
220	0.05	0.4	0.28	2829	216.8	0.293	0.175
220	0.1	0.43	0.28	2825	216.56	0.315	0.197
220	0.15	0.46	0.28	2816	216.32	0.338	0.219
220	0.2	0.51	0.28	2805	215.92	0.375	0.256
220	0.25	0.54	0.28	2795	215.68	0.398	0.278
220	0.3	0.57	0.28	2792	215.44	0.420	0.300

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar	Torsi poros
220	0.35	0.58	0.28	2788	215.36	0.428	0.308

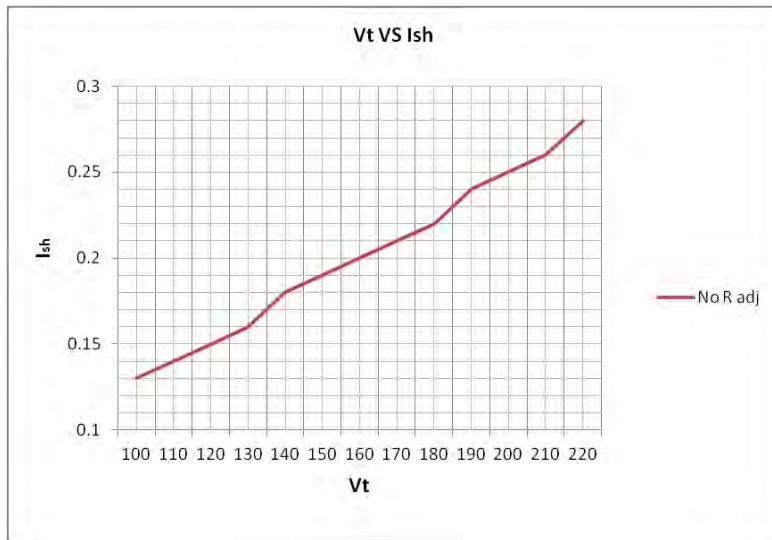
Pada tabel 4.14 dapat dilihat hasil perhitungan torsi jangkar dan torsi poros pada tiap nilai arus magnetisasi yang diberikan. Torsi jangkar akan naik seiring dengan naiknya arus magnetisasi sebab arus magnetisasi sebanding dengan nilai arus jangkar dan sesuai perumusan yang digunakan arus jangkar sebanding dengan nilai torsi motor.

4.5 Analisa grafik

perhitungan dari beberapa faktor yang mempengaruhi dari tugas akhir ini tentang analisa dari motor DC. Maka tahapan selanjutnya adalah membuat grafik dari parameter yang telah dihitung guna mengetahui hubungan antara tiap – tiap parameter tersebut. Dalam menganalisa grafik akan dibagi menjadi dua jenis yaitu motor tanpa beban dan motor berbeban sebab untuk mengetahui karakter dari motor kita harus menganalisa perubahan kondisi motor pada saat tidak dibebani dan pada saat dibebani dengan variabel yang telah ditentukan sebelumnya.

4.5.1. Motor tanpa beban

Pada sub-bab ini akan dibuat grafik hubungan antara beberapa parameter pada saat motor tidak berbeban. Setelah dibuat grafik akan dianalisa hubungan antara parameter tersebut guna mempelajari karakter dari motor. Grafik yang dibuat berdasarkan data hasil perhitungan dari motor yang menggunakan variabel tahanan dan dengan motor yang tidak menggunakan variabel tahanan.



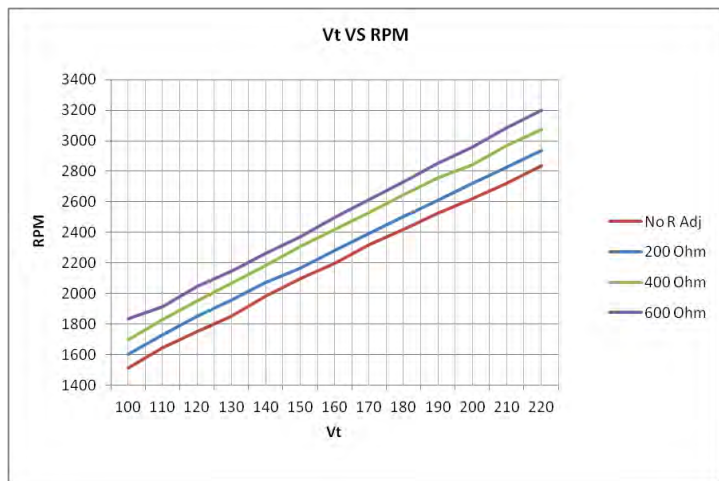
Grafik 4. 1 hubungan tegangan dengan I shunt

Pada grafik 4.2 dapat dilihat bahwa nilai dari I_{sh} akan naik seiring dengan naiknya nilai tegangan motor hasil ini sesuai dengan rumus tegangan yang berlaku untuk motor DC Shunt yaitu $V_T = I_{sh} \cdot R_{sh}$ dimana jika nilai tegangan naik dan nilai dari tahanan medan adalah tetap, maka nilai arus medan akan naik. Nilai $I_a^2 R_a$ konstan dikarenakan nilai tahanan jangkar motor akan tetap yaitu sebesar 8Ω , sedangkan nilai I_a nya berdasarkan hasil pengukuran dan hasil perhitungan dengan menggunakan hasilnya sama rumus $I_a = I_L - I_{sh}$ maka nilai $I_a^2 R_a$ akan konstan. Pada grafik 4.2 terbaca nilai $I_a^2 R_a$ tertinggi didapatkan dengan menggunakan variabel tahanan 600Ω , sedangkan nilai $I_a^2 R_a$ terendah diberikan oleh motor tanpa menggunakan nilai variabel hambatan. Hal ini disebabkan pada saat terminal medan

dikoneksikan dengan variabel tahanan maka nilai arus medan akan turun sesuai dengan nilai variabel tahanan yang digunakan, seiring dengan turunnya nilai arus medan ini maka nilai arus jangkar akan naik.

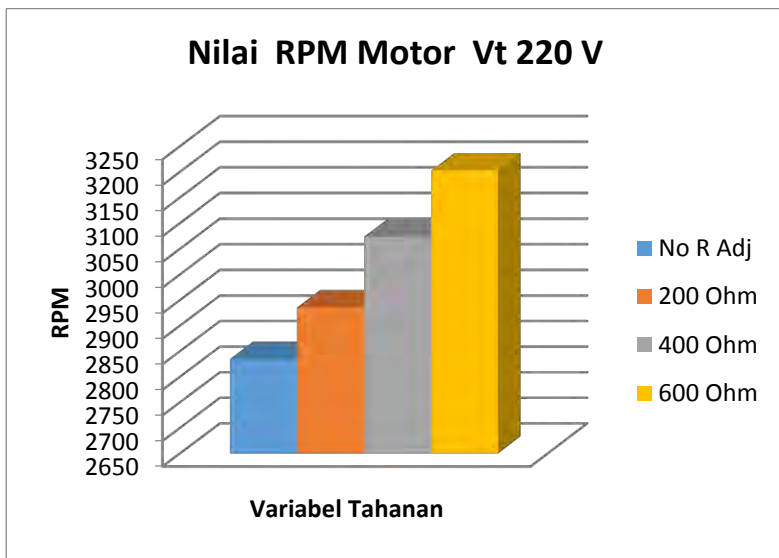
- **Hubungan antara V_t dan kecepatan**

Tahapan selanjutnya adalah pembuatan analisa mengenai hubungan antar V_t dengan RPM hal ini dimaksudkan agar mengetahui hubungan antara tegangan terminal dengan kecepatan motor sebab pada operasinya motor dapat dioperasikan pada nilai tegangan nominalnya taupun dibawahnya. Pada pembuatan grafik nilai dari tegangan terminal dan RPM didapatkan dari praktikum yang sebelumnya telah dilakukan. Dan pembuatan grafik dilakukan pada motor dengan variabel tahanan dan pada motor yang tidak menggunakan variabel tahananl. Grafik yang telah dibuat terlampir pada grafik 4.3



Grafik 4. 2 Hubungan antara V_t dengan RPM

Pada grafik 4.3 diatas dapat dilihat dengan jelas bahwa semakin tingginya nilai tegangan terminal motor maka akan semakin tinggi pula kecepatan motor. Hal ini didapatkan karena semakin tinggi tegangan maka akan semakin besar I_L semakin besar I_L maka akan semakin besar fluks yang dihasilkan semakin besar fluks berarti semakin besar kecepatan yang akan dihasilkan oleh motor karena medan magnet yang dihasilkan oleh medan akan semakin besar.



Grafik 4. 3 Putaran pada tegangan 220 V

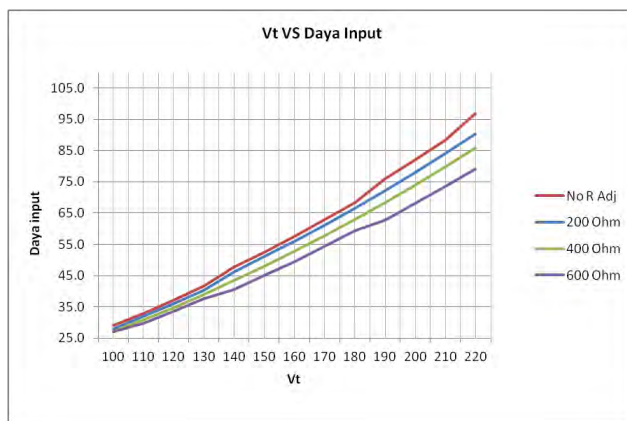
Dan kecepatan motor yang paling besar adalah motor yang menggunakan variasi tahanan dengan nilai 600 Ω sebab tahanan yang dirangkai secara seri dengan terminal medan akan mempengaruhi nilai dari arus medan motor, jika nilai tahanannya semakin besar maka akan semakin besar nilai arus medan sedangkan arus medan sebanding dengan nilai

fluks, semakin kecil nilai fluks maka akan semakin tinggi nilai putaran. Hal ini sesuai dengan teori yaitu nilai putaran akan berbanding terbalik dengan nilai fluks berdasarkan rumus

$$N = \frac{E_b}{c \phi}$$

- **Hubungan antara V_t dan daya input**

Pada motor, perhitungan daya sangatlah penting dikarenakan daya motor berpengaruh kepada kekuatan motor untuk memutar beban dan daya pada motor terbagi menjadi dua jenis yaitu daya input dan daya output. Pada motor tak berbeban hanya dapat dihitung daya inputnya dikarenakan daya outputnya adalah nol sebab tidak adanya beban. Nilai dari daya input motor saat kondisi tak berbeban akan berpengaruh pada nilai dari rugi konstan pada motor. Setelah dilakukan perhitungan tentang daya masukan motor selanjutnya dilakukan pembuatan grafik tentang hubungan antara tegangan motor dengan nilai daya masukan yang dihasilkan oleh motor tersebut. Adapun grafik yang didapatkan terlampir pada grafik 4.4 dibawah ini. sebagai berikut:



Grafik 4. 4 Hubungan antara V_t dengan Daya Input

Pada grafik 4.4 diatas dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan terminal dengan daya inputan adalah semakin tinggi tegangan maka akan semakin tinggi pula nilai daya yang dihasilkan, seperti denga analisa yang telah dilakukan sebelumnya nilai tegangan akan berpengaruh pada nilai arus motor semakin besar tegangan maka akan semakin besar nilai arusnya sedangkan daya inputan motor adalah tegangan dikalikan dengan arus maka dapat disimpulkan semakin besar tegangan maka akan semakin besar daya masukan untuk motor tak berbeban. Nilai daya inputan tertinggi didapatkan pada motor tanpa variabel tahanan medan.

- **Hubungan antara V_t dan total rugi tembaga**

Setelah pada sub-bab 4.2 sudah dilakukan perhitungan rugi tembaga. Selanjutnya dapat dibuat grafik hubungan tegangan dengan total rugi tembaga.. Grafik hubungan antara tegangan dengan total rugi tembaga yang terjadi terlampir pada grafik 4.5 dibawah ini:

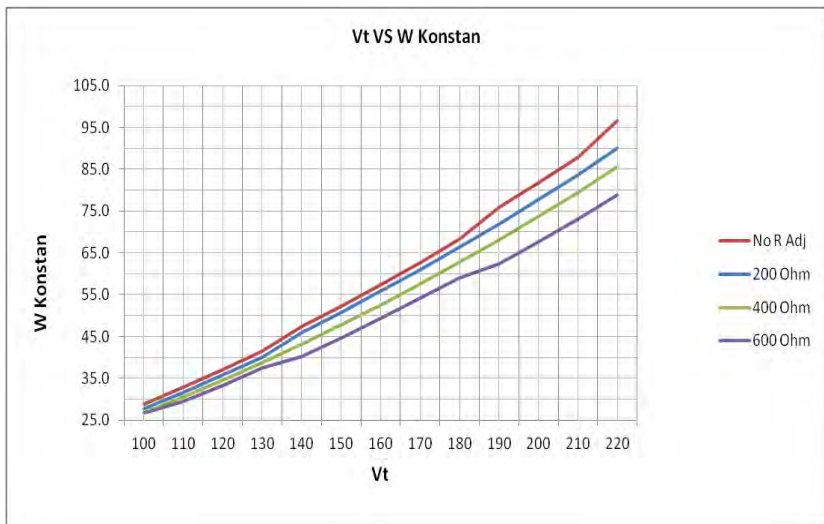


Grafik 4. 5 Hubungan tegangan dengan total rugi tembaga

Pada grafik 4.5 diatas dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan terminal dengan nilai total rugi tembaga adalah sebanding yaitu semakin besar nilai tegangan maka akan semakin besar nilai rugi tembaga yang terjadi sebab semakin besar tegangan akan semakin besar nilai dari I_L .

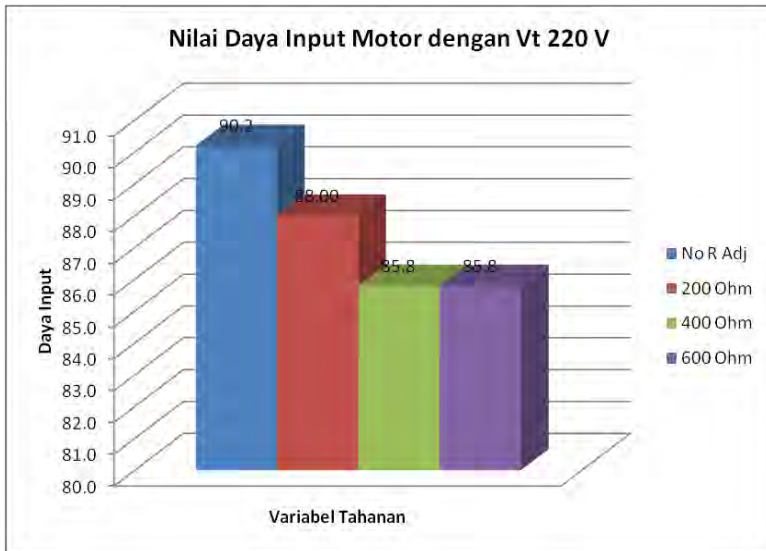
- **Hubungan antara V_t dan W konstan**

Setelah dilakukannya perhitungan mengenai rugi – rugi yang terjadi dan daya dari motor maka selanjutnya perlu dicari hubungan antara tegangan dengan nilai w konstan sebab nilai w konstan akan berpengaruh kepada nilai daya keluaran motor nantinya. Grafik hubungan antara tegangan dengan nilai rugi konstan motor terlampir pada grafik 4.6 dibawah ini:



Grafik 4. 6 Hubungan antara tegangan dengan W konstan

Pada grafik 4.6 dapat dilihat bahwa hubungan antara tegangan dan w konstan adalah semakin besar tegangan maka akan semakin besar nilai dari tegangan maka akan semakin besar pula nilai rugi konstan motor sebab semakin besar tegangan berarti semakin esar daya input motor sedangkan daya input motor berarti semakin besar w konstan motor.



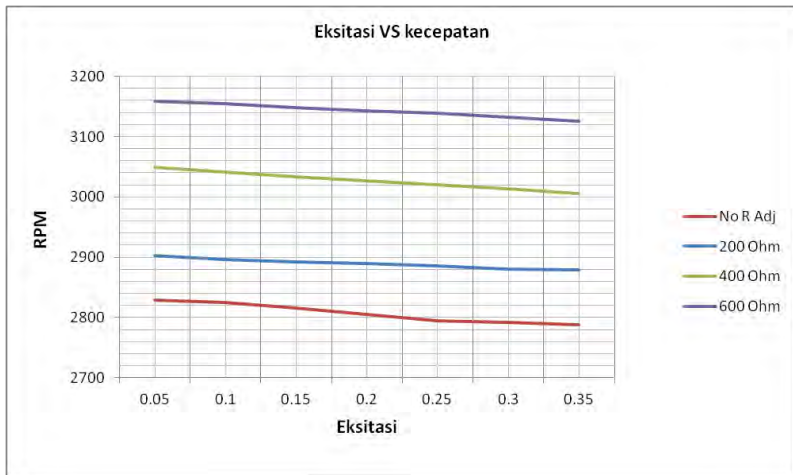
Grafik 4. 7 Daya input pada tiap nilai tahanan

Pada grafik 4.7 dapat dilihat bahwa nilai rugi konstan maksimum diperoleh pada motor tanpa tahanan tambahan. Sebab perhitungan nilai rugi konstan adalah nilai daya input dikurangi rugi tembaga jangkar, dikarenakan nilai rugi tembaga jangkar kecil maka rugi tetap tertinggi didapatkan pada motor dengan daya input tertinggi. Pada perhitungan daya input didapatkan nilai daya input terbesar terdapat pada motor tanpa tahanan tambahan.

4.5.2. Motor berbeban

- **Hubungan antara eksitasi dan kecepatan motor**

Setelah dilakukannya percobaan maka selanjutnya dilakukan pembuatan grafik antara eksitasi dengan kecepatan motor pada saat beberapa variasi tahanan digunakan. Adapun grafik dari kecepatan motor dibandingkan dengan eksitasi yang diberikan kepada generator adjelaskan pada grafik 4.7 sebagai berikut ini:



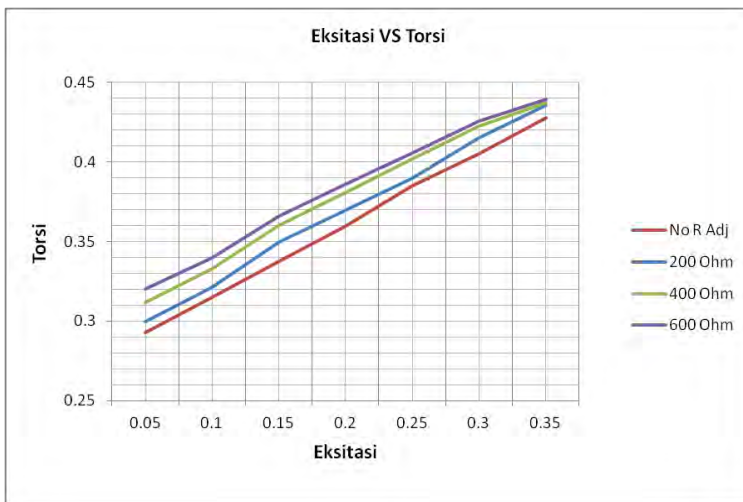
Grafik 4. 8 Hubungan eksitasi dengan RPM

Dapat dilihat pada grafik 4.8 hubungan antara eksitasi dengan kecepatan motor, yaitu kecepatan motor akan cenderung menurun jika eksitasi generator dinaikan. Hal ini dikarenakan semakin besar eksitasi akan semakin besar beban yang diterima oleh motor. Namun, degradasi kecepatan pada motor ini tidak terlalu jauh yaitu berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan adalah sebesar 2% dari kecepatan nominal motor dan cenderung konstan hal ini sesuai dengan karakter dari motor DC *shunt* yang memiliki nilai putaran

yang konstan. Dan nilai putaran teringgi dicapai oleh motor dengan nilai variabel tahanan 600 Ω .

- **Hubungan antara eksitasi dan torsi motor**

Pada saat motor dibebani dilakukan perhitungan mengenai torsi yang dihasilkan oleh motor untuk memutar beban tersebut, setelah dilakukannya perhitungan tersebut selanjutnya dibuat grafik untuk mengetahui antara hubungan eksitasi pada generator dengan torsi motor. Adapun hubungan antara eksitasi dengan torsi motor seperti terlampir pada grafik 4.7 dibawah ini:

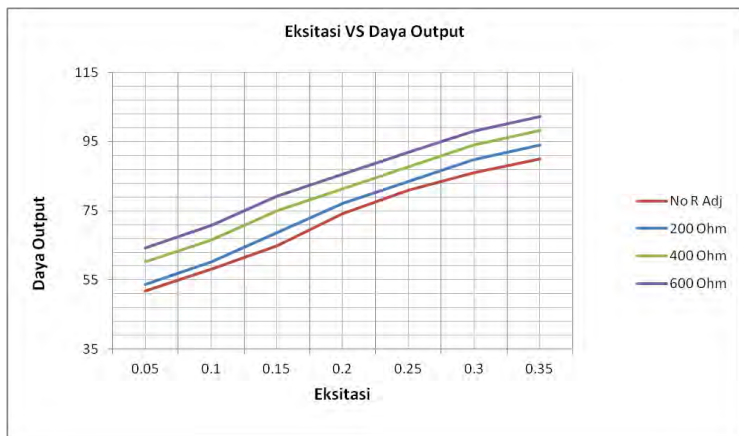


Grafik 4. 9 Hubungan torsi dengan eksitasi

Pada grafik 4.9 diatas dapat dilihat bahwa tosi motor akan naik jika eksitasi pada generator dinaikan hal ini dikarenakan motor akan memeberikan torsi sesuai dengan beban pada kecepatan nominalnya.

- **Hubungan antara Eksitasi dan daya output**

Pada sub bab sebelumnya telah dilakukan perhitungan mengenai daya output motor bak itu secara berbeban maupun tanpa beban. Selanjutnya pada subbab ini dilakukan pembuaan grafik untuk mengetahui hubungan antara daya output dengan eksitasi yang diberikan pada generator sebgai beban motor. Adapun grafik hubungan antara daya output dengan eksitasi yang didapatkan ditunjukkan oleh grafik 4.9 berikut ini:



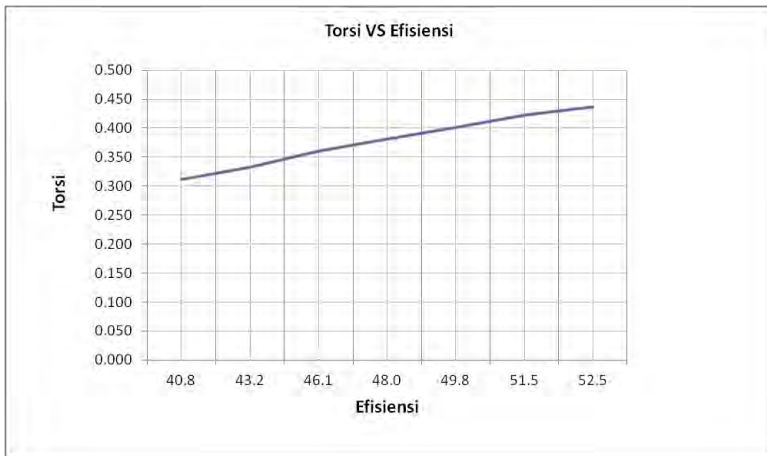
Grafik 4. 10 Hubungan eksitasi dengan daya output

Pada grafik 4.10 diatas iatas didapatkan bahwa nilai daya output yang dihasilkan motor akan naik seiring dengan dinaikannya nilai arus eksitasi pad generator, hal ini dikarenakan eksitasi bertindak sebagai beban maka seiring beban motor naik aka dayaoutput yang dhasilkan akan naik untuk memutar motor pad akecepatan nomialnya. Dilain sisi semakin tingginya beban maka akan semakin besar nilai rugi

tembaganya namun hal ini tidak berpengaruh banyak sebab ketika beban naik maka daya input pada motor pun akan naik.

- **Hubungan antara torsi dengan efisiensi**

Untuk mengetahui hubungan antara torsi dengan efisiensi motor maka dari data hasil perhitungan dibuat grafik untuk menganalisa hubungannya. Grafik hubungan antara torsi dan efisiensi adalah sebagai berikut ini:



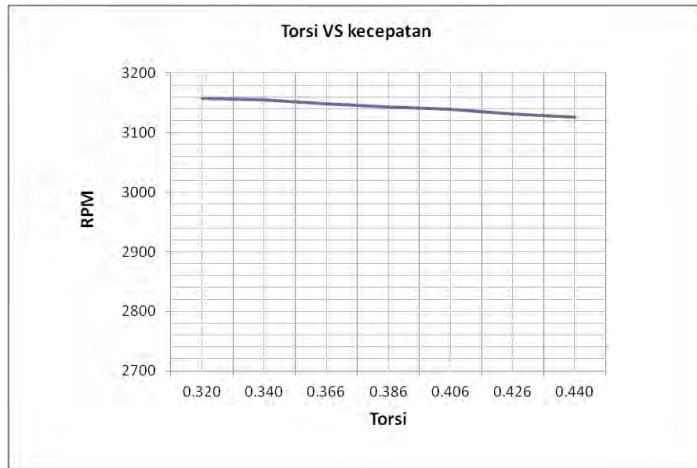
Grafik 4. 11 Hubungan torsi dengan efisiensi

pada grafik 4.11 terlihat jelas bahwa nilai torsi akan sebanding dengan nilai efisiensi. Namun pada percobaan kali ini belum ditemukan nilai efisiensi maksimum motor sebab pembebanan motor belum mencapai batas maksimumnya.

- **Hubungan antara torsi dengan putaran**

Pada teorinya sampai batas tertentu jika torsi naik maka putaran motor DC *shunt* akan tetap, tetapi pada praktiknya ketika torsi naik maka akan terjadi penurunan kecepatan motor 5 % – 15 %. Hal ini dikarenakan fluks motor diasumsikan akan tetap sebab nilai arus medannya tetap.

putaran akan sebanding dengan nilai Eb yang pada dasarnya konstan.



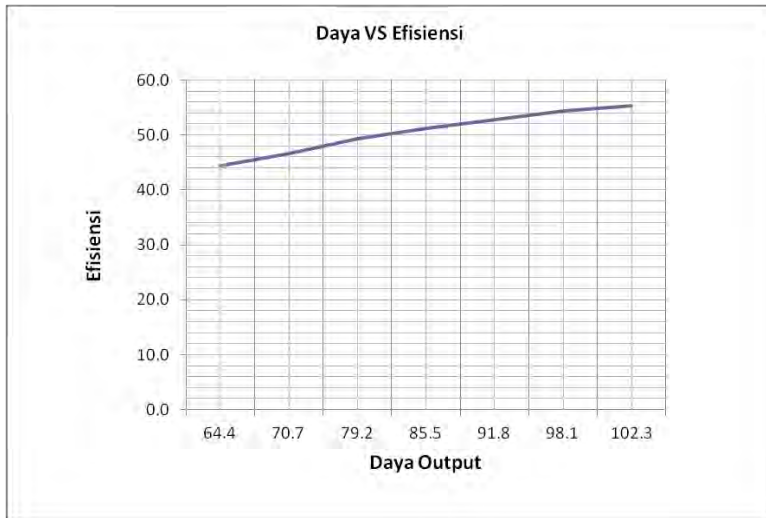
Grafik 4. 12 Hubungan torsi dengan RPM

Pada grafik 4.12 diatas dapat dilihat bahwa ketika torsi naik maka RPM akan turun. Hal ini dikarenakan nilai Eb pada perhitungan 4.4 akan turun seiring dengan nilai beban. Kondisi ini sudah sesuai teori karena pada teori penurunan nilai kecepatan jika dibandingkan dengan kecepatan nominalnya bisa mencapai 15 %, sebab pada grafik diatas dapat dihitung terjadi penurunan sebesar 2.4 % dibandingkan dengan kecepatan nominal motor pada tegangan 220 V pada saat beban nol.

- **Hubungan antara Daya Output dan efisiensi**

Pada dasarnya hubungan antara daya output motor dengan efisiensi adalah sebanding dikarenakan daya output adalah nilai daya input dikurangi loses tetap dan loses tembaga jangkar karena loses tembaga medan nilainya kecil

maka jika semakin besar daya input maka akan semakin besar nilai efisiensi yang dihasilkan.



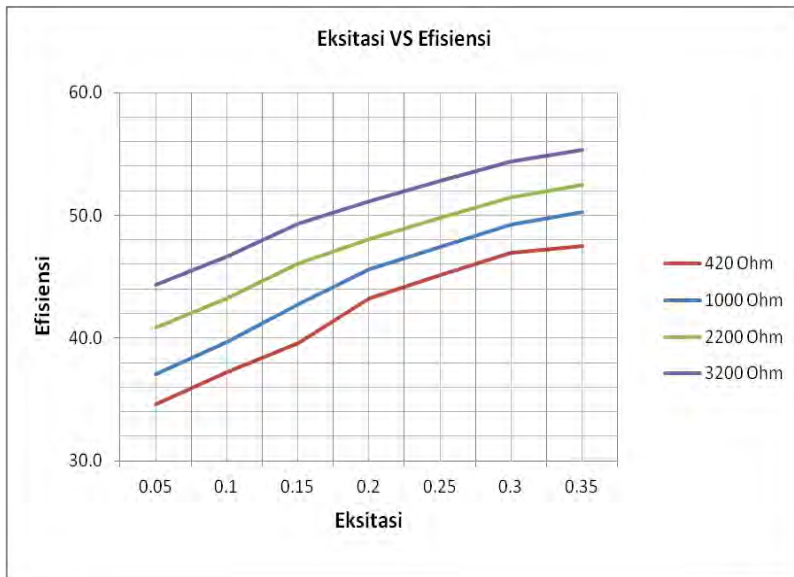
Grafik 4. 13 Hubungan daya Output dengan efisiensi

Pada grafik 4.13 diatas dapat dilihat bahwa nilai daya output sebanding dengan dilai torsi yag dihasilkan. Dapat diartikan bahwa seiring naiknya beban motor maka nilai efisinsi juga akan naik. Hal ini disebabkan seiring naiknya beban yang diberikan naiknya nilai daya input akan lebih besar dibandingkan naiknya nilai rugi tembaga yang terjadi.

- **Hubungan antara Eksitasi dan efisiensi**

Pada dasarnya nilai arus magnetisasi pada generator digunakan sebagai beban kepada motor, ketika nilai arus magnetisasi naik maka efisiensi akan naik hal itu dijelaskan pada prinsip dasar motor ketika beban ditambahkan maka efisiensi akan naik. Setelah melakukan perhitungan terhadap efisiensi motor, selanjutnya dicari hubungan antaa eksitasi

yang diberikan kepada generator dengan efisiensi motor. Adapun grafik yang didapatkan adalah dsebagai berikut ini:



Grafik 4. 14 Hubungan eksitasi dengan efisiensi motor

Pada grafik 4.11 diatas dapat dilihat bahwa efisiensi motor berkisar antara 35 % sampai dengan 55 %, efisiensi akan naik seiring naiknya nilai beban pada motor sebab efisiensi adalah daya keluaran motor dibandingkan dengan daya masukan motor. Semakin beban mendekati nilai maksimum motor yaitu arus load yang dihasilkan motor mendekati nilai dari spesifikasi motor, maka motor akan semakin efisien sebab daya output yang dihasilkan akan semakin tinggi dibandingkan dengan nilai total rugi yang tidak jauh berbeda yang motor yang memiliki efisiensi tertinggi adalah motor yang menggunakan variabel tahan 600 Ω . Nilai dari efisiensi akan naik sebanding dengan eksitasi yang diberikan. Pada dasarnya nilai efisiensi motor DC bisa

mencapai 95 % namun pada praktik yang telah dilakukan nilai efisiensi yang didapatkan hanya mencapai 55 %, hal ini disebabkan pembebanan yang dilakukan belum mencapai nilai beban maksimum yang bisa diterima oleh motor.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa performa motor DC Feedback Tipe No. 63 – 110 maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Rugi tetap adalah rugi yang dipengaruhi oleh kecepatan motor dan arus medan motor. Maka putaran akan sebanding dengan nilai rugi tetap, begitu pula dengan arus medan. Nilai rugi tetap yang didapatkan pada tegangan 220 V dan tanpa menggunakan variabel resistor adalah 89.97 W.
2. Nilai torsi maksimum yang didapatkan adalah 0.42 n.m dengan efisiensi sebesar 50.3%. setelah dilakukannya analisa data didapatkan bahwa torsi berbanding lurus dengan efisiensi motor. Karena nilai torsi yang terdapat pada motor akan sebanding dengan beban yang diberikan. Ketika beban naik maka efisiensi akan naik.
3. Torsi berbanding terbalik terhadap putaran pada saat motor berbeban, sebab ketika fluks motor tetap pada kondisi beban naik nilai E_b motor terdegradasi. Sebagaimana diketahui $N = \frac{E_b}{c\phi}$, maka ketika nilai E_b turun dan nilai fluks tetap maka kecepatan motor akan turun. Pada hasil percobaan pada torsi maksimum 0.428 N.m didapatkan putaran motor 2788 atau terjadi degradasi sebesar 2 % dari putaran nominal motor.
4. Rugi total motor akan sebanding dengan nilai beban yang diberikan pada motor. Karena ketika beban naik maka nilai arus jangkar juga akan naik. Sebab pada motor DC *shunt* nilai rugi yang berubah hanya nilai rugi jangkar sedangkan rugi yang lainnya tetap. Rugi total terbesar

terdapat pada motor tanpa menggunakan variabel resistor yaitu sebesar 99.29 W.

5.2 Saran

1. Pada saat pembebanan dilakukan pembacaan terhadap daya yang dikeluarkan oleh generator dan jika dilakukan pembebanan dengan cara induktif, resistif dan kapasitif untuk mengetahui karakter motor secara lebih jauh. Karena nilai efisiensi yang dihitung belum tentu efisiensi maksimum dari motor tersebut.
2. Analisa lebih lanjut jika motor DC *shutn* diaplikasikan pada kehidupan sehari – hari.

DAFTAR PUSTAKA

B.L Theraja, “A Textbook of Electrical Technology”, S. Chand, New Delhi, 1994

J. Chapman, Stephan, “Electric Machinery Fundamentals”, The McGraw Hill, New york, 2005

Fitzgerald, A.E, “Electric Machinery”, The McGraw Hill, Amerika Serikat, 2003

Zuhal, “Dasar Teknik Listrik dan Elektrodya”, Gramedia, Jakarta, 1993

Nasution, A. R. (2010). “Pengaruh Pengaturan Kecepatan Motor dengan Menggunakan Pengaturan Tahanan Jangkar Terhadap Efisiensi Motor DC Shunt”,

Wildi, Theodore. *Electrical machine, Drives, and Power Systems*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey. 1997

LAMPIRAN A

- Tabel perhitungan rugi tembaga
 - **Motor dengan R Variabel 200 Ω**
 - a. **Motor tanpa beban**

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia ² Ra (W)	Ish ² Rsh (W)	Σ Wcu
100	0.17	0.11	0.23	9.32	9.55
110	0.17	0.12	0.23	11.09	11.32
120	0.17	0.13	0.23	13.01	13.24
130	0.17	0.14	0.23	15.09	15.32
140	0.17	0.16	0.23	19.71	19.94
150	0.17	0.17	0.23	22.25	22.48
160	0.17	0.18	0.23	24.95	25.18
170	0.17	0.19	0.23	27.80	28.03
180	0.17	0.2	0.23	30.80	31.03
190	0.17	0.21	0.23	33.96	34.19
200	0.17	0.22	0.23	37.27	37.50
210	0.17	0.23	0.23	40.73	40.96
220	0.17	0.24	0.23	44.35	44.58

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Ia ² Ra (W)
220	0.05	0.66	0.42	0.24	2903	1.41
220	0.1	0.69	0.45	0.24	2896	1.62
220	0.15	0.73	0.49	0.24	2892	1.92
220	0.2	0.77	0.53	0.24	2889	2.25
220	0.25	0.8	0.56	0.24	2885	2.51
220	0.3	0.83	0.59	0.24	2880	2.78
220	0.35	0.85	0.61	0.24	2879	2.98

➤ **Motor dengan R Variabel 400 Ω**

a. Motor tanpa beban

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia ² Ra (W)	I _{sh} ² R _{sh} (W)	Σ W _{cu}
100	0.18	0.09	0.26	6.24	6.50
110	0.18	0.1	0.26	7.70	7.96
120	0.18	0.11	0.26	9.32	9.58
130	0.18	0.12	0.26	11.09	11.35
140	0.18	0.13	0.26	13.01	13.27
150	0.18	0.14	0.26	15.09	15.35
160	0.18	0.15	0.26	17.33	17.58
170	0.18	0.16	0.26	19.71	19.97
180	0.18	0.17	0.26	22.25	22.51
190	0.18	0.18	0.26	24.95	25.21
200	0.18	0.19	0.26	27.80	28.06
210	0.18	0.2	0.26	30.80	31.06
220	0.18	0.21	0.26	33.96	34.22

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Ia²Ra (W)
220	0.05	0.67	0.46	0.21	3049	1.69
220	0.1	0.7	0.49	0.21	3041	1.92
220	0.15	0.74	0.53	0.21	3033	2.25
220	0.2	0.77	0.56	0.21	3026	2.51
220	0.25	0.8	0.59	0.21	3020	2.78
220	0.3	0.83	0.62	0.21	3014	3.08
220	0.35	0.85	0.64	0.21	3005	3.28

➤ **Motor dengan R Variabel 600 Ω**

a. Motor tanpa beban

Vt (volt)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Ia²Ra (W)	W konstan
100	0.48	0.32	0.16	2329	1.36	17.10
110	0.48	0.32	0.16	2355	1.36	17.10
120	0.49	0.33	0.16	2397	1.45	17.10
130	0.49	0.33	0.16	2448	1.45	17.10
140	0.5	0.34	0.16	2517	1.54	17.10
150	0.5	0.34	0.16	2605	1.54	17.10
160	0.51	0.35	0.16	2676	1.63	17.10
170	0.51	0.35	0.16	2713	1.63	17.10
180	0.52	0.36	0.16	2791	1.72	17.10
190	0.52	0.36	0.16	2853	1.72	17.10
200	0.53	0.37	0.16	2923	1.82	17.10
210	0.53	0.37	0.16	3061	1.82	17.10
220	0.54	0.38	0.16	3175	1.92	17.10

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	IL (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Ia²Ra (W)	W konstan
220	0.1	0.54	0.38	0.16	3171	1.92	17.10
220	0.2	0.54	0.38	0.16	3152	1.92	17.10
220	0.3	0.54	0.38	0.16	3147	1.92	17.10
220	0.4	0.55	0.39	0.16	3143	2.02	17.10
220	0.5	0.55	0.39	0.16	3141	2.02	17.10
220	0.6	0.56	0.4	0.16	3139	2.13	17.10
220	0.7	0.56	0.4	0.16	3138	2.13	17.10

- **Perhitungan daya**

➤ **Motor dengan R Variabel 0 Ω**

a. Motor tanpa beban

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia²Ra (W)	Daya Input (W)	W konstan
100	0.16	0.13	0.20	29.0	28.8
110	0.16	0.14	0.20	33.0	32.8
120	0.16	0.15	0.20	37.2	37.0
130	0.16	0.16	0.20	41.6	41.4
140	0.16	0.18	0.20	47.6	47.4
150	0.16	0.19	0.20	52.5	52.3
160	0.16	0.2	0.20	57.6	57.4
170	0.16	0.21	0.20	62.9	62.7
180	0.16	0.22	0.20	68.4	68.2
190	0.16	0.24	0.20	76.0	75.8
200	0.16	0.25	0.20	82.0	81.8
210	0.16	0.26	0.20	88.2	88.0

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	efisiensi %
220	0.05	0.4	0.28	149.6	51.7	34.6
220	0.1	0.43	0.28	156.2	58.1	37.2
220	0.15	0.46	0.28	162.8	64.5	39.6
220	0.2	0.51	0.28	173.8	75.1	43.2
220	0.25	0.54	0.28	180.4	81.5	45.2
220	0.3	0.57	0.28	187.0	87.8	47.0
220	0.35	0.58	0.28	189.2	89.9	47.5

➤ **Motor dengan R Variabel 200 Ω**

c. Motor tanpa beban

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia²Ra (W)	Daya Input (W)	W konstan
100	0.17	0.11	0.23	28.00	27.77
110	0.17	0.12	0.23	31.90	31.67
120	0.17	0.13	0.23	36.00	35.77
130	0.17	0.14	0.23	40.30	40.07
140	0.17	0.16	0.23	46.20	45.97
150	0.17	0.17	0.23	51.00	50.77
160	0.17	0.18	0.23	56.00	55.77
170	0.17	0.19	0.23	61.20	60.97
180	0.17	0.2	0.23	66.60	66.37
190	0.17	0.21	0.23	72.20	71.97
200	0.17	0.22	0.23	78.00	77.77
210	0.17	0.23	0.23	84.00	83.77
220	0.17	0.24	0.23	90.20	89.97

d. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	efisiensi %
220	0.05	0.42	0.24	145.2	53.8	37.1
220	0.1	0.45	0.24	151.8	60.2	39.7
220	0.15	0.49	0.24	160.6	68.7	42.8
220	0.2	0.53	0.24	169.4	77.2	45.6
220	0.25	0.56	0.24	176.0	83.5	47.5
220	0.3	0.59	0.24	182.6	89.8	49.2
220	0.35	0.61	0.24	187.0	94.1	50.3

➤ **Motor dengan R Variabel 400 Ω**

a. Motor tanpa beban

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia²Ra (W)	Daya Input (W)	W konstan
100	0.18	0.09	0.26	27.0	26.74
110	0.18	0.1	0.26	30.8	30.54
120	0.18	0.11	0.26	34.8	34.54
130	0.18	0.12	0.26	39.0	38.74
140	0.18	0.13	0.26	43.4	43.14
150	0.18	0.14	0.26	48.0	47.74
160	0.18	0.15	0.26	52.8	52.54
170	0.18	0.16	0.26	57.8	57.54
180	0.18	0.17	0.26	63.0	62.74
190	0.18	0.18	0.26	68.4	68.14
200	0.18	0.19	0.26	74.0	73.74
210	0.18	0.2	0.26	79.8	79.54
220	0.18	0.21	0.26	85.8	85.54

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	efisiensi %
220	0.05	0.46	0.21	147.4	60.2	40.8
220	0.1	0.49	0.21	154.0	66.5	43.2
220	0.15	0.53	0.21	162.8	75.0	46.1
220	0.2	0.56	0.21	169.4	81.4	48.0
220	0.25	0.59	0.21	176.0	87.7	49.8
220	0.3	0.62	0.21	182.6	94.0	51.5
220	0.35	0.64	0.21	187.0	98.2	52.5

➤ **Motor dengan R Variabel 600 Ω**

a. Motor tanpa beban

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	Ia ² Ra (W)	Daya Input (W)	W konstan
100	0.19	0.08	0.29	27.0	26.71
110	0.19	0.08	0.29	29.7	29.41
120	0.19	0.09	0.29	33.6	33.31
130	0.19	0.1	0.29	37.7	37.41
140	0.19	0.1	0.29	40.6	40.31
150	0.19	0.11	0.29	45.0	44.71
160	0.19	0.12	0.29	49.6	49.31
170	0.19	0.13	0.29	54.4	54.11
180	0.19	0.14	0.29	59.4	59.11
190	0.19	0.14	0.29	62.7	62.41
200	0.19	0.15	0.29	68.0	67.71
210	0.19	0.16	0.29	73.5	73.21
220	0.19	0.17	0.29	79.2	78.91

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	Daya Input (W)	Daya Output (W)	efisiensi %
220	0.05	0.49	0.17	145.2	64.4	44.3
220	0.1	0.52	0.17	151.8	70.7	46.6
220	0.15	0.56	0.17	160.6	79.2	49.3
220	0.2	0.59	0.17	167.2	85.5	51.1
220	0.25	0.62	0.17	173.8	91.8	52.8
220	0.3	0.65	0.17	180.4	98.1	54.4
220	0.35	0.67	0.17	184.8	102.3	55.4

- **Perhitungan Torsi**

- **Motor dengan R Variabel 200 Ω**

- a. Motor tanpa beban**

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar
100	0.18	0.09	1698	98.56	0.100
110	0.18	0.1	1827	108.56	0.102
120	0.18	0.11	1953	118.56	0.104
130	0.18	0.12	2069	128.56	0.107
140	0.18	0.13	2185	138.56	0.109
150	0.18	0.14	2307	148.56	0.111
160	0.18	0.15	2419	158.56	0.113
170	0.18	0.16	2529	168.56	0.115
180	0.18	0.17	2647	178.56	0.116
190	0.18	0.18	2758	188.56	0.118
200	0.18	0.19	2844	198.56	0.120
210	0.18	0.2	2967	208.56	0.121
220	0.18	0.21	3074	218.56	0.122

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar	Torsi poros
220	0.05	0.42	0.24	2903	216.64	0.299	0.1771
220	0.1	0.45	0.24	2896	216.4	0.321	0.1986
220	0.15	0.49	0.24	2892	216.08	0.350	0.2270
220	0.2	0.53	0.24	2889	215.76	0.378	0.2553
220	0.25	0.56	0.24	2885	215.52	0.400	0.2766
220	0.3	0.59	0.24	2880	215.28	0.421	0.2981
220	0.35	0.61	0.24	2879	215.12	0.435	0.3121

➤ **Motor dengan R Variabel 400 Ω**

a. Motor tanpa beban

Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar
100	0.17	0.11	1601	98.64	0.100
110	0.17	0.12	1728	108.64	0.102
120	0.17	0.13	1852	118.64	0.104
130	0.17	0.14	1954	128.64	0.107
140	0.17	0.16	2072	138.64	0.109
150	0.17	0.17	2168	148.64	0.111
160	0.17	0.18	2284	158.64	0.113
170	0.17	0.19	2396	168.64	0.114
180	0.17	0.2	2505	178.64	0.116
190	0.17	0.21	2611	188.64	0.117
200	0.17	0.22	2720	198.64	0.119
210	0.17	0.23	2825	208.64	0.120
220	0.17	0.24	2936	218.64	0.121

b. Motor berbeban

Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar	Torsi poros
220	0.05	0.46	0.21	3049	216.32	0.312	0.1885
220	0.1	0.49	0.21	3041	216.08	0.333	0.2090
220	0.15	0.53	0.21	3033	215.76	0.360	0.2363
220	0.2	0.56	0.21	3026	215.52	0.381	0.2569
220	0.25	0.59	0.21	3020	215.28	0.402	0.2774
220	0.3	0.62	0.21	3014	215.04	0.423	0.2979
220	0.35	0.64	0.21	3005	214.88	0.437	0.3122

➤ **Motor dengan R Variabel 600 Ω**

a. Motor tanpa beban

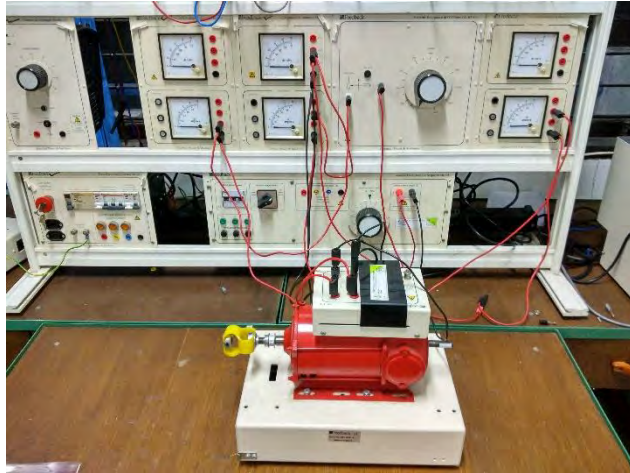
Vt (volt)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar
100	0.19	0.08	1832	98.48	0.098
110	0.19	0.08	1915	108.48	0.103
120	0.19	0.09	2043	118.48	0.105
130	0.19	0.1	2148	128.48	0.109
140	0.19	0.1	2264	138.48	0.111
150	0.19	0.11	2370	148.48	0.114
160	0.19	0.12	2498	158.48	0.115
170	0.19	0.13	2616	168.48	0.117
180	0.19	0.14	2729	178.48	0.119
190	0.19	0.14	2851	188.48	0.120
200	0.19	0.15	2956	198.48	0.122
210	0.19	0.16	3086	208.48	0.123
220	0.19	0.17	3203	218.48	0.124

b. Motor berbeban beban

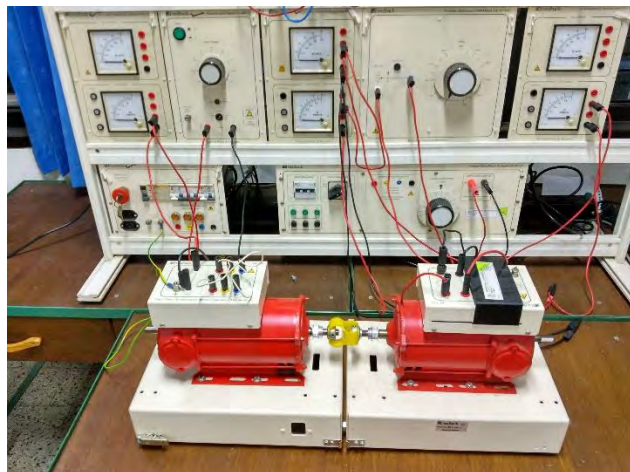
Vt (volt)	Arus Eksitasi (A)	Ia (A)	If (A)	n (RPM)	Eb	Torsi jangkar	Torsi poros
220	0.05	0.49	0.17	3158	216.08	0.320	0.195
220	0.1	0.52	0.17	3155	215.84	0.340	0.214
220	0.15	0.56	0.17	3148	215.52	0.366	0.240
220	0.2	0.59	0.17	3143	215.28	0.386	0.260
220	0.25	0.62	0.17	3139	215.04	0.406	0.279
220	0.3	0.65	0.17	3132	214.8	0.426	0.299
220	0.35	0.67	0.17	3126	214.64	0.440	0.313

LAMPIRAN B

- **Praktikum Motor tanpa beban**



- **Praktikum Motor Berbeban**



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa performa motor DC Feedback Tipe No. 63 – 110 maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut ini:

1. Rugi tetap adalah rugi yang dipengaruhi oleh kecepatan motor dan arus medan motor. Maka putaran akan sebanding dengan nilai rugi tetap, begitu pula dengan arus medan. Nilai rugi tetap yang didapatkan pada tegangan 220 V dan tanpa menggunakan variabel resistor adalah 89.97 W.
2. Nilai torsi maksimum yang didapatkan adalah 0.42 n.m dengan efisiensi sebesar 50.3%. setelah dilakukannya analisa data didapatkan bahwa torsi berbanding lurus dengan efisiensi motor. Karena nilai torsi yang terdapat pada motor akan sebanding dengan beban yang diberikan. Ketika beban naik maka efisiensi akan naik.
3. Torsi berbanding terbalik terhadap putaran pada saat motor berbeban, sebab ketika fluks motor tetap pada kondisi beban naik nilai E_b motor terdegradasi. Sebagaimana diketahui $N = \frac{E_b}{c\phi}$, maka ketika nilai E_b turun dan nilai fluks tetap maka kecepatan motor akan turun. Pada hasil percobaan pada torsi maksimum 0.428 N.m didapatkan putaran motor 2788 atau terjadi degradasi sebesar 2 % dari putaran nominal motor.
4. Rugi total motor akan sebanding dengan nilai beban yang diberikan pada motor. Karena ketika beban naik maka nilai arus jangkar juga akan naik. Sebab pada motor DC *shunt* nilai rugi yang berubah hanya nilai rugi jangkar sedangkan rugi yang lainnya tetap. Rugi total terbesar

terdapat pada motor tanpa menggunakan variabel resistor yaitu sebesar 99.29 W.

5.2 Saran

1. Pada saat pembebanan dilakukan pembacaan terhadap daya yang dikeluarkan oleh generator dan jika dilakukan pembebanan dengan cara induktif, resistif dan kapasitif untuk mengetahui karakter motor secara lebih jauh. Karena nilai efisiensi yang dihitung belum tentu efisiensi maksimum dari motor tersebut.
2. Analisa lebih lanjut jika motor DC *shutn* diaplikasikan pada kehidupan sehari – hari.

DAFTAR PUSTAKA

B.L Theraja, “A Textbook of Electrical Technology”, S. Chand, New Delhi, 1994

J. Chapman, Stephan, “Electric Machinery Fundamentals”, The McGraw Hill, New york, 2005

Fitzgerald, A.E, “Electric Machinery”, The McGraw Hill, Amarika Serikat, 2003

Zuhal, “Dasar Teknik Listrik dan Elektrodya”, Gramedia, Jakarta, 1993

Nasution, A. R. (2010). “Pengaruh Pengaturan Kecepatan Motor dengan Menggunakan Pengaturan Tahanan Jangkar Terhadap Efisiensi Motor DC Shunt”,

Wildi, Theodore. *Electrical machine, Drives, and Power Systems*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey. 1997

BIOGRAFI



Penulis yang bernama lengkap Viky Suyanto, lahir di Lamongan 20 Maret 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah melakukan pendidikan formal mulai dari SDN Beji timur 2 Kota Depok, SMP Negeri 5 Depok dan SMA Negeri 3 Depok. Lahir di Lamongan namun besar di kota Depok Provinsi Jawa Barat. Kemudian penulis memutuskan untuk melanjutkan jenjang pendidikan tinggi diluar Kota tepatnya Kota

Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Penulis memutuskan untuk memilih Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis terdaftar sebagai angkatan 2012 atau P-52, dalam kegiatan akademik penulis terdaftar sebagai member *Marine Electrical and Automation System Laboratory*. Dalam kegiatan non-akademik penulis aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dan juga terdaftar sebagai pengurus HIMASISKAL periode 2013/2014 dan periode 2014/2015 selain itu juga penulis sempat menjadi pengurus BEM ITS pada Kementerian PSDM periode 2013/2014, selain itu juga penulis pernah menjadi anggota *Marine Solar Boat Team* yang berjuang dalam kompetisi kapal bertenaga surya di Belanda. Dengan berbagai bimbingan dan pengalaman yang telah penulis peroleh selama menempuh pendidikan di Kampus perjuangan ITS Surabaya, penulis berharap dapat menjadi pribadi yang bermanfaat bagi lingkungan penulis nantinya setelah dinyatakan lulus sebagai seorang Sarjana Teknik. Kontak Penulis : vikysuyanto@gmail.com No HP : 081330266090
id line : suyantoviky.